วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology
ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม 2566) I Vol.11 Issue.3 (September – December 2023)
ISSN 2287 – 0083

บทความวิจัย

การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อยกระดับธุรกิจและเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายสำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย : กรณีศึกษาห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย 1
รินทร์ญา หวังวัชรกุล, พิมพ์พิชชา ประภาวิรัลพัชร์ และ ดานุกา นามวงค์ษา

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคปลาที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักใกล้แหล่งฝังกลบมูลฝอยเทศบาล 17
สมศักดิ์ อินทมาต, ดาวประกาย หญ้างาม, วริศรา รักษาภักดี และ ลำใย ณีรัตนพันธ์

การจัดชั้นคุณภาพและช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด 37
ธนดล ธาตุโลหะ, สมยศ มีทา, ศุภัชญา นามพิลา และ สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา

สมการไดโอแฟนไทน $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq}$ และ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq}$ 51
สุธน ตาดี

การเจริญเติบโตของยอดเปราะภูอ่างขาง (CAULOKAEMPFERIA APPENDICULATA K.LARSEN & TRIBOUN) พืชเฉพาะถิ่นของไทยในสภาพปลอดเชื้อ 61
บัณฑิตา เพ็ญสุริยะ, น้ำฝน ชาชัย, มนัสชนก เกตกลางดอน, พงศกร นิตย์มี, เรวัตร จินดาเจี่ย, สุรสิทธิ์ วงศ์สัจจานันท์, จรรยา มุ่งงาม, เตชิตา ปิ่นสันเทียะ, ปราโมทย์ ไตรบุญ และ จักรกฤษณ์ ศรีแสง

การวิเคราะห์โครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโทรเมทรีและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพลที่สกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ 75
เอกชัย จงเสรีเจริญ, ชิษณุพงษ์ อนุกานนท์, โยธิน กัลยาเลิศ และ วิชัย กองศรี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (2566)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.11 Issue.3 (2023)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (2566)

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; ISSN 2287-0083) ชื่อย่อภาษาอังกฤษ “UDRU Sci. & Tech. J.” มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวารสารรับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ ในกลุ่มวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ กลุ่มวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพ กลุ่มเกษตรศาสตร์ สาขาพืชศาสตร์ เศรษฐศาสตร์เกษตร ประมงและสัตวศาสตร์ และกลุ่มวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล, พลังงาน อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ โดยมีกำหนดเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน) ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม) และฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม) ของทุกปี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศรา ธัญสุนทรสกุล	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ม่วงปฐม	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ์ เพ็งชัย	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี บุญมี	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล สิงห์คำ	รองอธิการบดี
ดร.วิบูล เป็นสุข	รองอธิการบดี
ดร.เอกราช ดีนาง	รองอธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิบาก	คณบดีคณะเทคโนโลยี
ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (2566)

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิราวรรณ กุนัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ยศวริศ เสมามิ่ง

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนออมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นลออ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา มีศุข	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.โฆษิต ศรีภูธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ฤทธิชัย พิลาไชย	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ เหมวงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงกฎ อุตรา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุมาลินทร์ พ่อค้า	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสิต คำหล้า	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทีบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (2566)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.วิบัณฑิตา จันทร์กิติสกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรนุช เจริญกิจ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล มงคลธนวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิบาก	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนาภรณ์ คงคา	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงฤทัย ศรีแดง	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรวัฒน์ สนิทชน	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวลักษณ์ ศรีสุภา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วิชิตพันธุ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวคนธ์ เหมวงษ์	มหาวิทยาลัยนครพนม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรทณา สินศิริ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญวรัชญ์ บุตรสาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวดี สราภิรมย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงกรด พิมพิศาล	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกยูร ดวงอุปมา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพงษ์ ชุมศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมทินี วสุนธราวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ทุมมุ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษมา ชารีโคตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ ไชยศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ นวลเพ็ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (2566)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิไลพร กุลตังวัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.สุพัตรา มหาโกสี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ดร.ไกรจักร แก้วพรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ดร.ภาวดี ทองนพคุณ ทอยน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.วัลยา มงคลสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.ศกุนตลา ศิริอุดม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.ทัศนัย ปัญจันทร์สิงห์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.เบญจธรรม สุขณีวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.อาทิตย์ ใจช่วง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

คณะกรรมการดำเนินงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ณัฏฐนันธ์ สุวรรณวงก์	รองประธานกรรมการ
นายกวีพงษ์ หงส์ทอง	กรรมการ
ดร.เบญจธรรม สุขณีวัฒน์	กรรมการ
นางสาวศิวพร ภูกองทอง	กรรมการ
นายธราดล ปราบภัย	กรรมการ
นางพิมลพรรณ ศรีภูธร	กรรมการ
นายอภิเดช อภิพัฒน์ภาดุล	กรรมการ
นางสาวนัชชา คำบุญมา	กรรมการ
นายธนวิชญ์ ปัจชามาตย์	กรรมการ
นางสาววณัฐพร แพงขวา	กรรมการ
นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวศศิดา พงศาวลี	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (2566)

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

รองศาสตราจารย์ ดร.นภาทรัพย์ เลิศปรีดากร

พิสูจน์อักษร

นางสาวศิวพร ภูกองทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรงณ์

นางสาวศศิดา พงศาวลี

กำหนดการเผยแพร่

3 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)
ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)
ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

สถานที่ติดต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000
โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702
เว็บไซต์: http://rdi.udru.ac.th
เว็บไซต์วารสาร: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru
อีเมล์: scjournal@udru.ac.th

“ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องในวารสารวิชาการเล่มนี้
ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ซึ่งความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความ
แต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน”

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เป็นวารสารที่ได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 4 พ.ศ. 2563-2567 ได้ประกาศให้วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถูกจัดให้เป็นวารสารกลุ่มที่ 2 ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 11 ฉบับที่ 3 ประจำปี พ.ศ. 2566 มีบทความวิจัยจำนวน 10 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้อ่านทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ส่งบทความ และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร

ปิยวดี ยาบุษดี

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อยกระดับธุรกิจและเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่าย สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย : กรณีศึกษาห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย 1

รินทร์ญา หวังวัชรกุล, พิมพ์พิชชา ประภาวิรัลพัชร์ และ ดานุกา นามวงค์ษา

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคปลาที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักใกล้แหล่งฝังกลบมูลฝอยเทศบาล 17

สมศักดิ์ อินทมาต, ดาวประกาย หญ้างาม, วริศรา รักษาภักดี และ ลำใย ณีรัตนพันธ์

การจัดชั้นคุณภาพและช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด 37

ธนดล ธาตุโลหะ, สมยศ มีทา, ศุภัชญา นามพิลา และ สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา

สมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq}$ และ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq}$ 51

สุธน ตาดี

การเจริญเติบโตของยอดเปราะภูอ่างขาง (*CAULOKAEMPFERIA APPENDICULATA* K.LARSEN & TRIBOUN) พืชเฉพาะถิ่นของไทยในสภาพปลอดเชื้อ 61

บัณฑิตา เพ็ญสุริยะ, น้ำฝน ชาชัย, มนัสชนก เกตกลางดอน, พงศกร นิตย์มี, เรวัตร จินดาเจี่ย, สุรสิทธิ์ วงศ์สัจจานันท์, จรรยา มุ่งงาม, เตชิตา ปิ่นสันเทียะ, ปราโมทย์ ไตรบุญ และ จักรกฤษณ์ ศรีแสง

การวิเคราะห์โครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโทรเมทรีและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพลที่สกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ 75

เอกชัย จงเสรีเจริญ, ชิษณุพงษ์ อนุกานนท์, โยธิน กัลยาเลิศ และ วิชัย กองศรี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งในระหว่างการเก็บรักษา 91

ธีราพร ปฏิเวธวิทูร

การพัฒนาข้าวหมากจากข้าวไรซ์เบอรี่ และการศึกษาคุณสมบัติของยีสต์ข้าวหมากต่อการต้านทานแบคทีเรีย *ESCHERICHIA COLI* 111

พรพรรณ รัตนะสัจจะ, จารุณี สนองคุณ, อาคม หะยีอูมา, มานพ สังข์แก้ว และ พิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร

ความชุกและปัจจัยของการติดพยาธิในเลือดในโคนมพื้นที่สหกรณ์โคนวาริชภูมิ จำกัด 129

ธีระกุล นิลนนท์, ปราณปรียา ทอดทอง และ ฤทธิชัย พิลาไชย

การใช้สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีในการปลูกดาวเรือง 139

อรรจนา ด้วงแพง, ดรุณี พวงบุตร, โฉมยง ไชยอุบล, เยาวพล ชุมพล และ วชิราวุธ พิศยะไตร

การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อยกระดับธุรกิจและเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่าย สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย : กรณีศึกษา ห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย

THE DEVELOPMENT OF AN E-COMMERCE SYSTEM FOR IMPROVEMENT BUSINESS AND INCREASING DISTRIBUTION CHANNEL OF LOEI SMEs : A CASE STUDY OF S.TAWEEPHAN STORE, LOEI

ชรินทร์ญา หวังวัชรกุล*, พิมพ์พิชชา ประภาวิรัลพัชร์ และ ดานุกา นามวงค์ษา
Charinya Wangwatcharakul*, Phimphitcha Prapawiranphat
and Danuka Namwongsa

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Digital Business Computer Major, Faculty of Management Science, Loei Rajabhat University

Received: 19 April 2023 Revised: 26 July 2023 Accepted: 15 August 2023

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อยกระดับธุรกิจและเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่าย สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย : กรณีศึกษา ห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและประเมินผลความพึงพอใจต่อระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย 1) ระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ 2) แบบประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน พบว่าโดยรวมคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.90 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.20 และผลการศึกษา

* Corresponding author: ชรินทร์ญา หวังวัชรกุล
E-mail: charinya.wan@lru.ac.th

ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง พบว่ามีระดับความพึงพอใจมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.18

คำสำคัญ: พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์, วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, ธุรกิจออนไลน์

Abstract

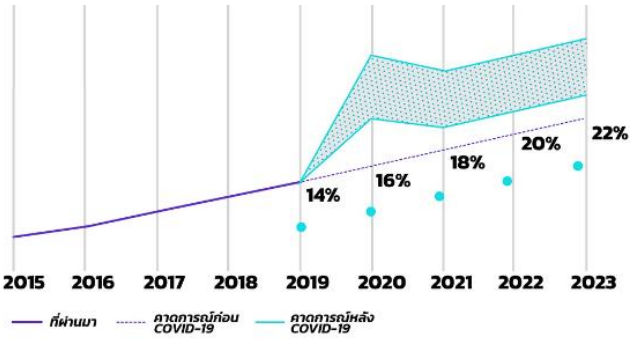
The objectives of this research were: 1) to design and develop an e-commerce system for SMEs in Loei Province, a case study of S. Thaweephan Store, Loei Province 2) to evaluate the efficiency and the satisfaction of the prototype of the e-commerce system. The following research tools were used in this study: 1) the e-commerce system 2) a performance questionnaire 3) satisfaction questionnaire. Mean and standard deviation statistics were used for data analysis. The effectiveness of the system was evaluated by 5 experts. It was found that the overall quality was very good. The mean was 4.90 and the standard deviation was 0.20 and the result of the satisfaction found that the evaluation was at the highest level. The mean was 4.74, and the standard deviation was 0.18.

Keywords: E-commerce, SMEs, Online Business

บทนำ

เนื่องจากสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคต ผู้ประกอบการธุรกิจต้องเผชิญกับความท้าทายในการแข่งขันที่สูงยิ่งขึ้น เพราะมีปัจจัยที่คาดไม่ถึง อาทิ การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ความขัดแย้งทางการค้าของโลก ซึ่งจะนำไปสู่พฤติกรรมของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป เกิดเป็นมิติใหม่ของการพัฒนาธุรกิจให้อยู่ในรูปแบบของดิจิทัล ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าธุรกิจ e-Commerce ได้เข้ามาตอบโจทย์วิถีชีวิตแบบ New Normal มากขึ้น ส่งผลให้มูลค่าของธุรกิจนี้เติบโตอย่างก้าวกระโดด มีแนวโน้มการซื้อขายสินค้าผ่านช่องทางออนไลน์เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 1 (สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์, 2565)

ธุรกิจ SMEs มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทย จากการสำรวจการทำธุรกิจบนอินเทอร์เน็ตของ SMEs พบว่ามีความพร้อมในการนำ e-Commerce มาใช้เพื่อขยายตลาดสินค้า สร้างโอกาสในการแข่งขันทางธุรกิจ และสามารถขยายสินค้าเพื่อส่งออกไปสู่ต่างประเทศมากขึ้น (สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2565) และจังหวัดเลย มีธุรกิจที่จัดอยู่ในกลุ่มของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ที่ได้จดทะเบียนแล้ว จำนวน 1,440 ราย (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเลย, 2565) จากการสำรวจตัวแทนผู้ประกอบการ พบว่าผู้ประกอบการธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย มีความกังวลและได้รับผลกระทบจากสภาพเศรษฐกิจ และการใช้ชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปของผู้บริโภค จึงต้องการเร่งพัฒนาธุรกิจโดยใช้หลักการตลาดดิจิทัล (Digital Marketing) เน้นการประกอบธุรกิจบนช่องทางออนไลน์ ในรูปแบบของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกรวดเร็ว ให้สามารถสู้กับบริษัทขนาดใหญ่ และเพิ่มโอกาสการขยายตลาดไปสู่ต่างประเทศในอนาคตได้ จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาให้กับผู้ประกอบการในธุรกิจ SMEs จังหวัดเลย โดยการพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย กรณีศึกษา ห้าง ส. ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย โดยออกแบบและพัฒนาระบบในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการบริหารจัดการซื้อขายสินค้า เชื่อมต่อกับเทคโนโลยีไลน์แอปพลิเคชัน รองรับการแจ้งเตือนการสั่งซื้อ การชำระเงิน การติดตามสถานะการขนส่งสินค้า เป็นต้น โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการพัฒนาของธุรกิจอื่น ๆ เพิ่มโอกาส และเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายสินค้า ตอบสนองการแข่งขันทางธุรกิจต่อไป



รูปที่ 1 แนวโน้มการเพิ่มมูลค่าของธุรกิจ e-Commerce ในตลาดโลก
ที่มา: สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (2565)

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย กรณีศึกษา ห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย

2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและประเมินผลความพึงพอใจต่อระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental research) ใช้วงจรการพัฒนาระบบแบบ SDLC (System Development Life Cycle) โดยรวบรวมข้อมูลในการศึกษาจากห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย เป็นกรณีศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย ประชากร ได้แก่ เจ้าของร้านค้าและประชาชนในเขตเทศบาลอำเภอเมือง จังหวัดเลย จำนวน 21,013 คน เลือกจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากสูตรทาโร่ยามาเน่ สำหรับการประเมินผลความพึงพอใจต่อระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 393 คนโดยวิธีการคัดเลือกแบบสุ่ม และการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบคอมพิวเตอร์และงานธุรกิจ จำนวน 5 ท่าน ได้จากวิธีการเลือกแบบเจาะจง

2. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย แบบประเมินประสิทธิภาพสำหรับผู้เชี่ยวชาญ และแบบสอบถามความพึงพอใจต่อระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

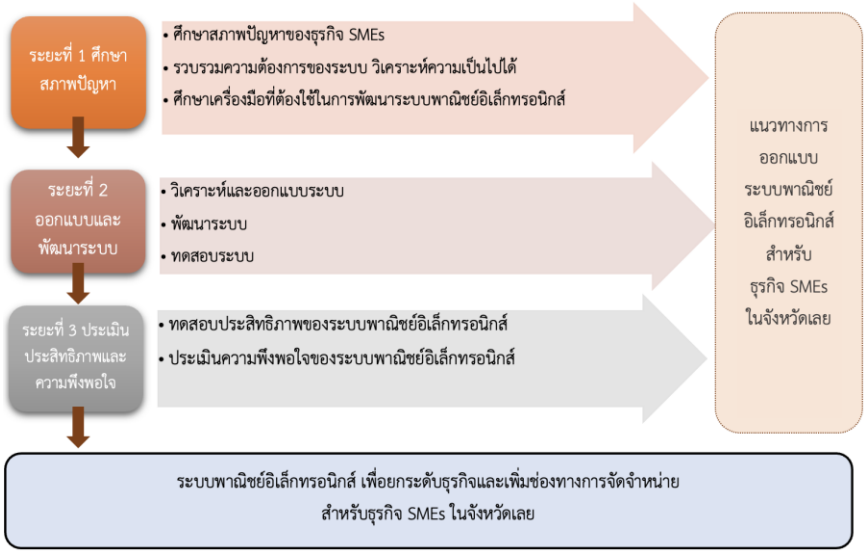
3. ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย ตัวแปรต้น ได้แก่ ระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยผู้เชี่ยวชาญ และ ผลการศึกษาความพึงพอใจต่อระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยผู้ใช้งานระบบ

4. ขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาระบบด้วยหลักการของวงจรการพัฒนาระบบแบบ SDLC โดยได้อธิบายกระบวนการ การออกแบบและพัฒนาแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย ระยะที่ 1 ศึกษาสภาพปัญหา ระยะที่ 2 ออกแบบและพัฒนาระบบ และระยะที่ 3 ประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ระยะที่ 1 ศึกษาสภาพปัญหาของธุรกิจ SMEs ผู้วิจัยได้สำรวจความต้องการของระบบ โดยใช้เทคนิคการสัมภาษณ์ การเข้าสังเกตการณ์ในกระบวนการซื้อขายจริง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการวิเคราะห์ข้อมูลและความเป็นไปได้ ผลการศึกษาพบว่าระบบสามารถแบ่งผู้ใช้งาน 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนผู้ดูแลระบบ ส่วนสมาชิก และ ส่วนบุคคลทั่วไป

4.2 ระยะที่ 2 ออกแบบและพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ กรณีศึกษาห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย มีรายละเอียดต่อไปนี้

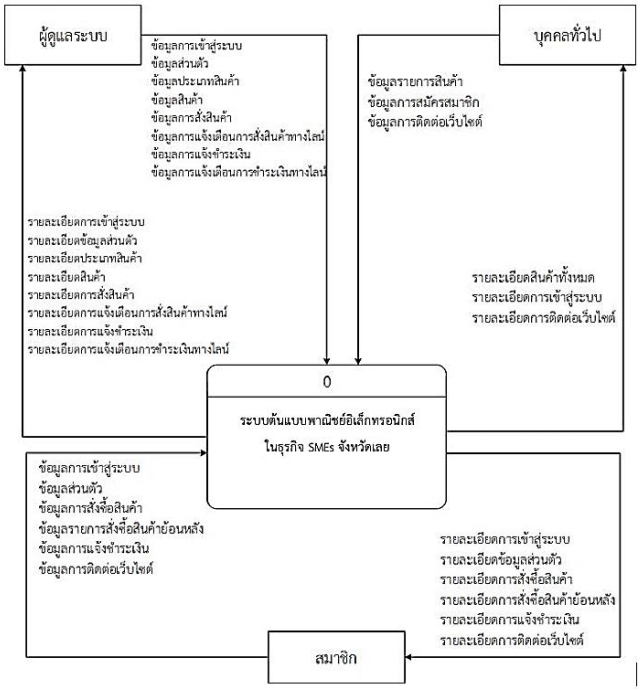


รูปที่ 2 กรอบแนวคิดงานวิจัย

4.2.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลความต้องการ และวิเคราะห์ระบบ โดยการสร้างแผนภาพบริบท (Context Diagram) แผนภาพกระแสข้อมูล (Data flow diagram) การออกแบบฐานข้อมูล (ER diagram) การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) เป็นต้น ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงแผนภาพกระแสข้อมูล เพื่อแสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงขั้นตอนต่าง ๆ ในการพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

4.2.2 การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนา ประกอบด้วย ภาษา PHP, HTML, Style sheet และ JavaScript การพัฒนาระบบ เขียนบนเครื่องมือ Visual Studio Code เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL และเชื่อมต่อกับฟังก์ชันของ Line Notify

4.2.3 การทดสอบระบบ เพื่อพิจารณาความถูกต้องของข้อมูล และฟังก์ชันการทำงานของระบบให้เป็นไปตาม requirements ของผู้ใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และงานด้านธุรกิจ เมื่อพบข้อผิดพลาดจะปรับปรุงแก้ไขในทันที นอกจากนี้หากพบว่ามีความต้องการการทำงานที่เพิ่มเติม เมื่อวิเคราะห์แล้วว่าอยู่ในขอบเขตของการพัฒนา หรืออยู่ในช่วงเวลาที่กำหนดจะดำเนินการพัฒนาในทันที

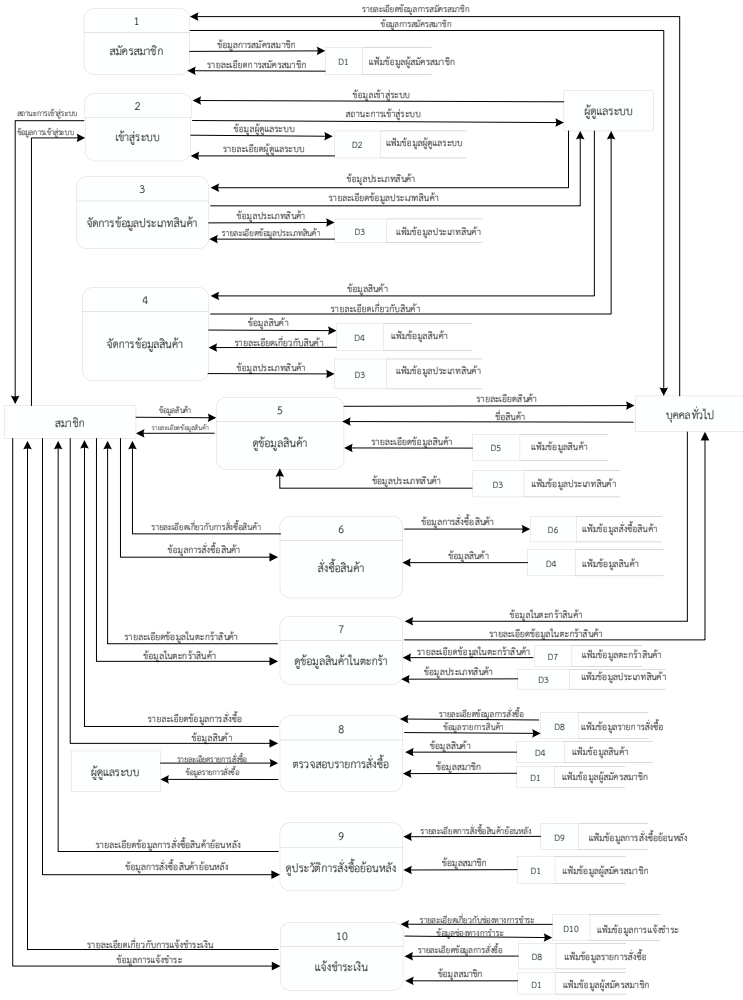


รูปที่ 3 แผนภาพบริบทของระบบ (Context Diagram)

4.3 ระยะที่ 3 ประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยแบบสอบถามจะแบ่งระดับของการให้คะแนนออกเป็น 5 ระดับ ตามมาตรวัดลิเคิร์ท (บุญชม ศรีสะอาด, 2560) และใช้การแปลผล พิจารณาจากค่าเฉลี่ยตามเกณฑ์ของเบสท์ (Best, 1981) ผ่านการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (Index of Item Objective Congruence: IOC) ถ้าข้อคำถามใดมีค่า IOC > 0.50 ถือว่าข้อคำถามนั้นวัดได้สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน การประเมินประสิทธิภาพระบบของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ 5 ด้าน ประกอบด้วย 1) ฟังก์ชันงานตรงกับความต้องการของผู้ใช้ 2) ด้านผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ 3) ด้านการใช้งานง่ายของระบบ 4) ด้านการประมวลผล 5) ด้านการรักษาความปลอดภัย

4.3.2 ประเมินผลความพึงพอใจของระบบ โดยกลุ่มตัวอย่าง มีหัวข้อการประเมิน ดังนี้ 1) ด้านเนื้อหา 2) ด้านการออกแบบ 3) ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน 4) ด้านประโยชน์และการนำไปใช้

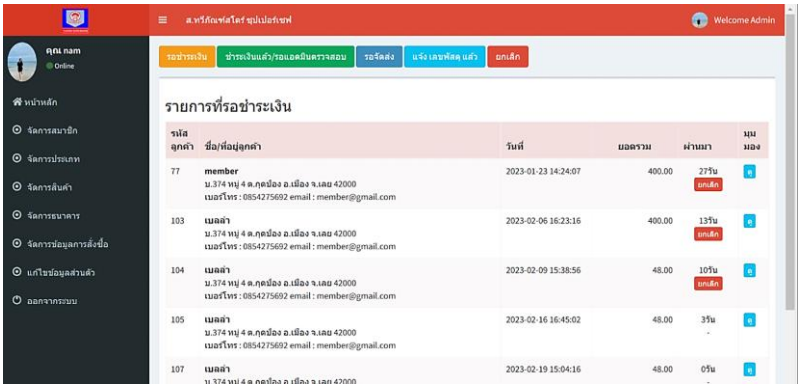


รูปที่ 4 แผนภาพกระแสข้อมูล Level 1 ของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

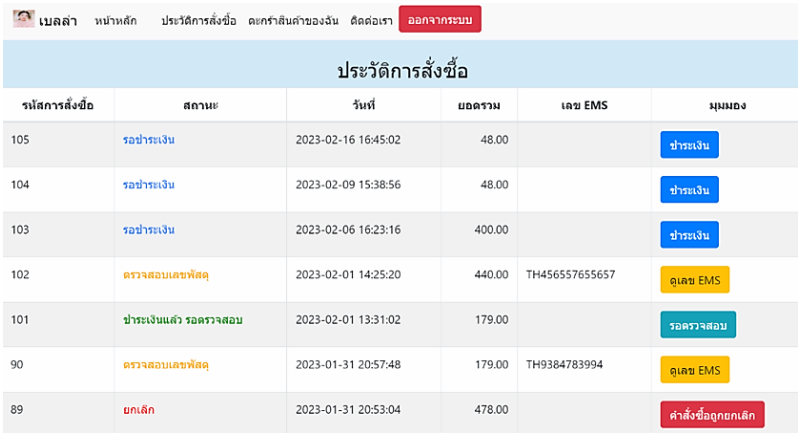
ผลการวิจัยออกแบบและพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย กรณีศึกษา ห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย มีผลการดำเนินการ ดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs



รูปที่ 5 หน้าแรกของการเข้าสู่ระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ

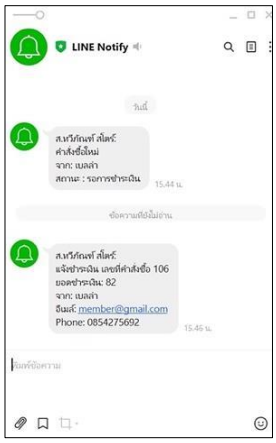
จากรูปที่ 5 แสดงเมนูหลักในการทำงาน ประกอบด้วย จัดการสมาชิก จัดการประเภทสินค้า จัดการสินค้า จัดการธนาคาร จัดการข้อมูลการสั่งซื้อ แก้ไขข้อมูลส่วนตัว และออกจากระบบ และรายการออเดอร์ ที่ถูกสั่งซื้อเข้ามา



รหัสการสั่งซื้อ	สถานะ	วันที่	ยอดรวม	เลข EMS	มุมมอง
105	รอชำระเงิน	2023-02-16 16:45:02	48.00		ชำระเงิน
104	รอชำระเงิน	2023-02-09 15:38:56	48.00		ชำระเงิน
103	รอชำระเงิน	2023-02-06 16:23:16	400.00		ชำระเงิน
102	ตรวจสอบเลขพัสดุ	2023-02-01 14:25:20	440.00	TH456557655657	ดูเลข EMS
101	ชำระเงินแล้ว รอตรวจสอบ	2023-02-01 13:31:02	179.00		รอตรวจสอบ
90	ตรวจสอบเลขพัสดุ	2023-01-31 20:57:48	179.00	TH9384783994	ดูเลข EMS
89	ยกเลิก	2023-01-31 20:53:04	478.00		คำสั่งซื้อถูกยกเลิก

รูปที่ 6 หน้าประวัติการสั่งซื้อ

จากรูปที่ 6 แสดงประวัติการสั่งซื้อสินค้าทั้งหมด ประกอบไปด้วยข้อมูลต่อไปนี้ รหัสการสั่งซื้อ สถานะ วันที่ ยอดรวม หมายเลขการส่งพัสดุ หากลูกค้าชำระเงินแล้วจะปรากฏเลขพัสดุ หากยังไม่ชำระเงินจะปรากฏปุ่มชำระเงิน



รูปที่ 7 การแจ้งเตือนการสั่งซื้อสินค้าและชำระเงินผ่านทางไลน์

จากรูปที่ 7 แสดงหน้าจอข้อความแจ้งเตือนการสั่งซื้อสินค้า และแจ้งชำระเงินผ่านทางไลน์ เมื่อลูกค้าสั่งซื้อสินค้า และมีการชำระเงิน ระบบจะแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ของผู้ดูแลระบบ ทุกรายการ

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพการพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย : กรณีศึกษา ห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญ

Assessment List	Analysis		Results
	$\overline{X}$	S.D.	
1) Functional Requirement Test	4.95	0.11	Very good
2) Functional Test	4.93	0.18	Very good
3) Usability Test	4.90	0.16	Very good
4) Security Test	4.89	0.11	Very good
5) Performance Test	4.85	0.46	Very good
Total	**4.90**	**0.20**	Very good

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินสิทธิภาพของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์โดยผู้ เชี่ยวชาญ พบว่า ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.90, S.D. = 0.20) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านฟังก์ชันงาน ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.95, S.D. = 0.11)

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย: กรณีศึกษา ห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความพึงพอใจ ด้านเนื้อหา

Assessment List	Analysis		Results
	$\overline{X}$	S.D.	
1) Data accuracy, clarity, and completeness	4.54	0.40	Very good
2) Matching the correct category when searching	4.60	0.42	Very good
3) Consistency of content and images	4.75	0.65	Very good
4) Algorithm simplicity and content continuity	4.65	0.61	Very good
5) Matching the user's needs	4.87	0.30	Very good
6) Accuracy of the grammar in the contents	4.70	0.43	Very good
Total	**4.69**	**0.47**	**Very good**

จากตารางที่ 2 ผลการศึกษาความพึงพอใจ ด้านการเนื้อหาโดยรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.69, S.D. = 0.47) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากค่าเฉลี่ยสูงสุดพบว่าตรงกับความต้องการของผู้ใช้อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.87, S.D. = 0.30)

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจ ด้านการออกแบบ

Assessment List	Analysis		Results
	$\overline{X}$	S.D.	
1) Design simplicity	4.67	0.13	Very good
2) Simplicity of layout	4.30	0.20	Good
3) Fonts, colors, and backgrounds are used appropriately	4.43	0.11	Good
4) Clearly convey content using text and images	4.47	0.17	Good
Total	**4.47**	**0.15**	**Good**

จากตารางที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจ ด้านการออกแบบ โดยผู้ใช้งาน พบว่าโดยรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\overline{X}$ = 4.47, S.D. = 0.15) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านโดยเรียงจากค่าเฉลี่ยสูงสุด พบว่า การออกแบบง่าย อยู่ในระดับมากที่สุด

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาความพึงพอใจ ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

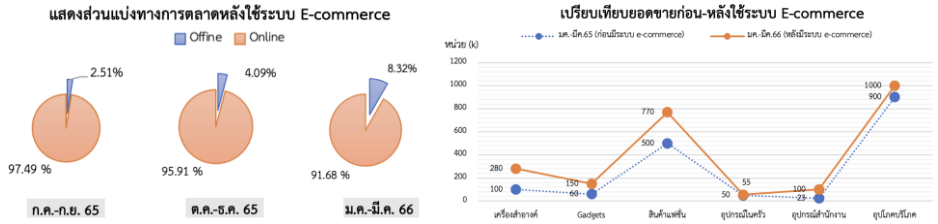
Assessment List	Analysis		Results
	$\overline{X}$	S.D.	
1) Ease of use of the system	4.48	0.20	Good
2) Information relevant to the user's request	4.79	0.11	Very good
3) Speed of system response	4.85	0.22	Very good
4) Enhance accessibility and shopping	4.95	0.18	Very good
Total	**4.77**	**0.18**	**Very good**

จากตารางที่ 4 ผลการศึกษาความพึงพอใจ ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน โดยผู้ใช้งาน พบว่าโดยรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.77, S.D. = 0.18) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ช่วยเพิ่มช่องทางการเข้าถึงและซื้อสินค้า อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.95, S.D. = 0.18)

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาความพึงพอใจ ด้านประโยชน์และการนำไปใช้

Assessment List	Analysis		Results
	$\overline{X}$	S.D.	
1) Increase distribution channels for products and services	4.69	0.47	Very good
2) Sales growth online	4.48	0.17	good
3) Public relations to be known more widely	4.87	0.12	Very good
4) Real-world applications for business	4.92	0.18	Very good
Total	**4.81**	**0.17**	**Very good**

จากตารางที่ 5 ผลการศึกษาความพึงพอใจ ด้านประโยชน์และการนำไปใช้ พบว่าโดยรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.81, S.D. = 0.17) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า แอปพลิเคชันใช้งานได้จริงสำหรับ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.92, S.D. = 0.18)



รูปที่ 8 ผลการศึกษาเปรียบเทียบยอดขายก่อนและหลังใช้งานระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 8 แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบจากยอดขาย โดยภาพซ้ายแสดงส่วนแบ่งยอดขายที่ได้จากทั้งหน้าร้าน (Offline) กับระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (Online) ซึ่งพบว่ายอดขายที่ได้จากการทดสอบใช้ระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ มีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละไตรมาส และจากภาพทางขวาแสดงยอดขายที่ได้ในช่วงเวลาเดียวกัน ก่อนการใช้งานระบบ (ไตรมาสแรกของปี 2565) เทียบกับหลังการใช้งานระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (ไตรมาสแรกของปี 2566) พบว่ามียอดขายสูงขึ้นในทุกหมวดสินค้า

ประเด็นการอภิปรายผล การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย : กรณีศึกษา ห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย ผู้วิจัยได้นำเสนอประเด็นดังต่อไปนี้

1. ประเด็นด้านประชากรศาสตร์ จากการสำรวจข้อมูล พบว่า ผู้บริโภคที่เป็นเพศหญิงมีความถี่ในการซื้อสินค้ามากกว่าเพศชาย และมีพฤติกรรมในการซื้อสินค้าซ้ำ ๆ และ ผู้บริโภคที่อยู่ในช่วงระดับการศึกษาปริญญาตรีหรือเทียบเท่า มีการซื้อสินค้ามากที่สุด เนื่องจากมีความพร้อมในการใช้งานในระบบอินเทอร์เน็ตที่จะสามารถรับรู้ข้อมูลได้รวดเร็ว ทั้งนี้ส่วนใหญ่ มีรายได้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10,000 – 20,000 บาท สถานภาพโสด เนื่องจากมีความเป็นตัวของตัวเอง ไม่มีภาระทางการเงินเทียบกับสถานภาพสมรส และสามารถตัดสินใจได้ด้วยตนเอง สอดคล้องกับงานวิจัยศรินภัสร์ ล้อมวลีรักษ์ และคณะ (2565) กล่าวถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการซื้อสินค้าของผู้บริโภค การตัดสินใจของผู้ซื้อได้รับอิทธิพลจากลักษณะส่วนบุคคลทางด้านต่างๆ ได้แก่ อายุ เพศ สถานภาพการสมรส รายได้ ระดับการศึกษา และอาชีพ เกณฑ์เหล่านี้นำมาใช้ในการแบ่งส่วนการตลาด

2. ประเด็นด้านประสิทธิภาพของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ในภาพรวมอยู่ในระดับดีมากและจาก

ผลการวิจัยพบว่า ยอดขายมีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละไตรมาส สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมภูมิ แสวงกุล (2565) ที่ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการยกระดับการดำเนินงานธุรกิจขนาดเล็กสู่ดิจิทัล ไทยแลนด์ ได้กล่าวถึงธุรกิจ SMEs ควรมีการจำหน่ายสินค้าผ่านช่องทางออนไลน์ เช่น Facebook สามารถกำหนดราคาสินค้าที่ต่ำกว่าช่องทางปกติได้ ยกระดับให้เข้าสู่การแข่งขันที่กว้างขึ้น สร้างความเข้มแข็งให้ธุรกิจชุมชน เกิดความยั่งยืนและพึ่งพาตนเองได้

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบยอดขายในช่วงเวลาเดียวกัน หลังมีระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ทำให้ยอดขายสูงขึ้นในทุกหมวดสินค้า จึงกล่าวได้ว่าการพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์นี้ สามารถช่วยเพิ่มช่องทางการจำหน่ายสินค้า ยกระดับธุรกิจขนาดเล็กให้สู่โลกของดิจิทัลด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ประกอบกับพฤติกรรมของลูกค้าได้ปรับเปลี่ยนไป มีความเชื่อมั่นในการซื้อขายสินค้าออนไลน์และคุ้นเคยในการใช้เทคโนโลยี ลูกค้าสามารถเข้าถึงสินค้าได้ตลอดเวลา ผ่านทางคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน สอดคล้องกับงานวิจัยของนภารัตน์ ชูไพร และคณะ (2565) พบว่าระบบขายสินค้าออนไลน์ได้ช่วยเพิ่มช่องทางการกระจายสินค้า และช่วยส่งเสริมการจำหน่ายสินค้าของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนให้เป็นที่รู้จักได้อย่างแพร่หลาย รวมไปถึงการเพิ่มช่องทางในการประชาสัมพันธ์ข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของชูศักดิ์ ยาทองไชย และ วิไลรัตน์ ยาทองไชย (2564), ชนินทร์ มหัทธนชัย และคณะ (2563) มีความเห็นในทิศทางเดียวกันว่า ธุรกิจ e-Commerce เป็นช่องทางในการลดความเหลื่อมล้ำ สร้างรายได้จากช่องทางการจำหน่ายใหม่ รวมถึงผู้ประกอบการท้องถิ่นที่จะนำสินค้าในท้องถิ่นสู่ตลาดโลก ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถยกระดับผู้ประกอบการและบุคคลทั่วไปให้สามารถสร้างรายได้หรือต่อยอดการทำธุรกิจได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

3. ประเด็นด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

ในภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านเนื้อหา มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยพบว่าการจัดเก็บข้อมูล ได้รับความร่วมมือจากผู้ประกอบการทำให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและสมบูรณ์ เช่น ข้อความ รูปภาพ รายละเอียดสินค้า ราคา เป็นต้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ นริสรา ลอยฟ้า (2563) ซึ่งกล่าวว่า การจัดทำเนื้อหา ที่ประกอบด้วยข้อความและรูปภาพควรต้องชัดเจนและครบถ้วน เนื่องมาจากผู้บริโภคให้ความสนใจและตัดสินใจซื้อสินค้าที่มีความน่าเชื่อถือ จากข้อมูลที่ปรากฏอยู่บนระบบอันจะเป็นผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ และปัจจุบันพฤติกรรมของผู้บริโภคเน้นการใช้ซื้อสินค้าผ่านระบบออนไลน์

เป็นส่วนใหญ่ การนำเทคโนโลยีมาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลและพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการจำหน่าย และการสร้างแพลตฟอร์มออนไลน์เอง จะลดต้นทุนมากกว่าการนำสินค้าไปขายลงในแพลตฟอร์มของ Shopee หรือ Lazada เนื่องจากต้องเสียค่าธรรมเนียมทุกครั้งของคำสั่งซื้อ

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย : กรณีศึกษา ห้าง ส.ทวีภัณฑ์สโตร์ จังหวัดเลย มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับธุรกิจ SMEs ในจังหวัดเลย และ 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและประเมินผลความพึงพอใจ ผลการศึกษาพบว่า การประเมินสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดและมีแนวโน้มยอดขายสูงขึ้น และผลการศึกษาความพึงพอใจในการพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ภาพรวม อยู่ในระดับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย ได้แก่ ระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ควรจะมีการเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มอื่นได้ เช่น Facebook, Line และ Tiktok เพื่อเป็นทางเลือกให้กับลูกค้า

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ได้แก่ ระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ควรได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ตามเทรนด์ และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น การสร้างสินค้าในรูปแบบ 3D หรือมีเพิ่มคลิปรีวิวสินค้า ตลอดจนสามารถเชื่อมต่อกับการจัดส่งสินค้าและระบบการชำระเงินออนไลน์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้ และควรมีภาษาอังกฤษเพื่อให้ลูกค้าชาวต่างชาติ สามารถเข้าใช้งานได้ นอกจากนี้ระบบควรใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เข้ามาช่วยวิเคราะห์และให้คำแนะนำลูกค้า โดยพิจารณาจากประวัติการซื้อในอดีต ช่วงอายุ เพศ ตลอดจนอาชีพ เป็นต้น เพื่อแนะนำสินค้าและส่งเสริมการขายได้

เอกสารอ้างอิง

ชนินทร์ มหัทธนชัย, มานพ ชุ่มอุ่น, บุษราภรณ์ มหัทธนชัย, จิตราภรณ์ ธาราพิทักษ์วงศ์, ทิวาวัลย์ ต๊ะการ, วาสนา สันติธีรากุล และ พริ้มไพร วงค์ชมภู. (2563). การพัฒนาระบบดิจิทัลคอมเมิร์ซเพื่อส่งเสริมการตลาดของผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี*, *16*(3), 78-88.

ชูศักดิ์ ยาทองไชย และ วิไลรัตน์ ยาทองไชย. (2564). การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ผ้าทอพื้นบ้านสินค้าระดับพรีเมี่ยมกลุ่มชาติพันธุ์เขมร. *วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, *8*(1),7-19.

นริสรา ลอยฟ้า. (2563). การเพิ่มมูลค่าสินค้าและเพิ่มช่องทางการตลาดผ่านระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ของกลุ่มวิสาหกิจ ชุมชนทอผ้าไหมลายลูกแก้ว. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, *8*(1), 214-226.

นภารัตน์ ชูไพร, เอกรินทร์ วิจิตต์พันธ์, พิมพ์ชนก แก้วอุดม และ ชุติมา ยอดเกื้อ. (2565). การพัฒนาระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับเพิ่มช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์กาแฟ วิสาหกิจชุมชนบ้านถ้ำสิงห์ จังหวัดชุมพร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, *24*(3), 40-49.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). *การวิจัยเบื้องต้น.* พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ศรินภัสร์ ล้อมวลีรักษ์, ภาศิริ เขตปิยรัตน์ และ ศิริกานดา แหยมคง. (2565). ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดและคุณภาพ การให้บริการที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจของลูกค้าบริษัทห้องเย็นอุตรดิตถ์จำกัด. *วารสารวิชาการการจัดการภาครัฐและเอกชน*, *4*(3), 92-105.

สมภูมิ แสวงกุล. (2565). การยกระดับการดำเนินธุรกิจขนาดเล็กสู่ดิจิทัลไทยแลนด์. *วารสารวิจัย มข.สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, *10*(1), 10-20.

สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์. (2565). *การสำรวจมูลค่าพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย (Value of e-Commerce Survey in Thailand)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2566, จาก https://www.etda.or.th.

สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเลย. (2565). *แผนพัฒนาจังหวัดเลย 4 ปี*. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2566, จาก https://www.industry.go.th.

สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. (2565). *สถานการณ์และการส่งเสริม SME*. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2566, จาก https://www.sme.go.th.

Best, J. W. (1981). *Research in Education*. 3rd ed. Englewood cliffs, New Jersey: Prentice. Hall Inc.

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคปลาที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักใกล้แหล่งฝังกลบมูลฝอยเทศบาล

HEALTH RISK ASSESSMENT OF HEAVY METALS INTAKE DUE TO FISH CONSUMPTION NEAR MUNICIPAL LANDFILLS

สมศักดิ์ อินทมาต[1, *], ดาวประกาย หญ้างาม[1], วริศรา รักษาภักดี[1] และ ลำใย ณีรัตนพันธ์[2]
Somsak Intamat[1, *], Dawprakay Ya-ngam[1], Varitsara Raksapakdee[1]
and Lamyai Neeratanaphan[2]

[1] โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชธาตุพนม
[2] ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[1] Thatphanom Crown Prince Hospital
[2] Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University

Received: 8 August 2023 Revised: 13 November 2023 Accepted: 29 November 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคปลาที่ปนเปื้อนโลหะหนัก (สารหนู แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว นิกเกิล แมงกานีส สังกะสีและทองแดง) บริเวณรอบแหล่งฝังกลบมูลฝอยเทศบาล อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม และศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ และตัวอย่างปลา 5 ชนิด 30 ตัวอย่าง ได้แก่ ปลาช่อน ปลาซิว ปลากระสูบจุด ปลากด ปลากระดี่และปลาหมอ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลาด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) ผลการศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนักทุกชนิดที่ปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำมีค่าไม่เกินมาตรฐานยกเว้น สังกะสี และสารหนู ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดที่ปนเปื้อนในปลาทุกชนิดค่าไม่เกินมาตรฐาน ยกเว้นโครเมียม ค่าประมาณการได้รับสัมผัส

* Corresponding author: สมศักดิ์ อินทมาต
E-mail: suwanwisit@yahoo.com

โลหะหนักสูงสุด (EDI) จากการบริโภคปลาได้แก่ สังกะสี>แมงกานีส>โครเมียม ซึ่งพบได้ในปลาทุกชนิด ค่าประมาณการได้รับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคปลาทุกชนิดมีค่าไม่เกินปริมาณสูงสุดที่แนะนำให้บริโภคได้ต่อวัน การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคปลาที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักพบว่า โลหะหนักทุกชนิดค่า human risk index (HRI) ไม่เกิน 1 ในปลาทุกชนิด

คำสำคัญ: โลหะหนัก, ปลา, แหล่งฝังกลบมูลฝอยเทศบาล, การประเมินความเสี่ยง

Abstract

This study was conducted to assess heavy metal concentrations (arsenic, cadmium, chromium, lead, nickel, manganese, zinc and copper) in water and 6 species, 36 of fish (*Channa striata, Silver rasbora, Hampala barb, Hemibagrus nemurus, Toxotes microlepis and Anabas testudineus*) near municipal landfill in Thatphanom District, Nakhonphanom Province. The estimated daily intake (EDI) and health risk index (HRI) were measured. The samples were analyzed for heavy metals using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The results found that heavy metal concentrations in water samples were within the standard except Zn and As. The heavy metal concentrations in all fish samples were within the standard except Cr. The highest of the EDI value of heavy metals via fish consumption were Zn>Mn>Cr in all fish species. The EDI of heavy metals in all fish species was within the maximum tolerable intake (MTDI). The human risk index (HRI) of heavy metals via fish consumption was less than 1 in all fish species.

Keywords: heavy metals, fish, municipal landfill, risk assessment

Introduction

The expanding urban communities and life style changing from agricultural to urban society, population growth, promoting tourism and higher consumption are factors that cause higher amount of solid waste in various areas. The amount of municipal solid waste in Thailand generated in 2019 was 28.71 million tonnes which is a 3 percentages increase from 2018, 2 million tons is municipal plastic waste (PCD, 2019). The municipal solid waste (9.58 million tons or 34%) was separated at its source and re-utilized. For remainder of the municipal solid waste, 10.88 million tons (39%) was disposed of appropriately, while another 7.36 million tons (27%) was still disposed improperly (PCD, 2019). Thatphanom sub-district municipal located in Nakornphanom district of Thailand. The total municipal solid waste was generated 5 tons per day. However, household hazardous waste is not separated. The open dumpsite was used to dispose municipal solid waste. Moreover, leachate management is improper, resulting in heavy metal contamination in the environment. Leachate is formed due to the interaction between the waste in the landfill and water from soil moisture, precipitation, and other liquid waste disposed of in the landfill site. Leachate can also be formed as a result of chemical and biochemical processes within the landfill. One of the adverse effects caused by solid waste disposal onto landfills is the contamination of surface and groundwater by leachate. The quantity and quality heavily depends on the waste components and rain for leachate in landfills (El-Fadel et al., 1997; Capelo & de Castro, 2007). A wide variety of contaminants such as heavy metals was reported in various studies (Rikta et al., 2018; Baun & Christensen, 2004; Kanmani & Gandhimathi, 2013; Phoonaploy et al., 2016). The heavy metals present in municipal landfills include chromium (Cr), cadmium (Cd), mercury (Hg), lead (Pb), and a metalloid such as arsenic (As). Some metals such as Cu and Zn are essential for the normal physiological regulatory functions of organisms but

can bioaccumulation to toxic levels, while others such as Pb, As and Cd are non-essential and lead to intoxication through bioaccumulation in tissues (decreased fertility, cellular and tissue damage, cell death and dysfunction in a variety of organs), depending on their potential toxic effects (Mishra & Mohanty, 2008; Paul et al., 2014; Pereira et al., 2016).

In last decades, studied on heavy metals in freshwater ecosystem have been major focuses (Plessl et al., 2014; Mutia et al., 2012; Ogamba et al., 2016; Arantes et al., 2016). Fish have been recognized as bioindicator for environmental contamination, providing an integrated insight into the status of their environment over longer periods of time. This is particularly valid for most metals, as they show very long biological half-lives. Therefore, elevated tissue concentrations can occur even if the exposure is not continuous (Hofer et al., 1995). Moreover, fish is an important food source for humans in many parts of the world, and monitoring their trace element levels is therefore also important to ensure food safety. Exposure to heavy metals can cause a variety of adverse health effects. Heavy metals are transported and compartmentalized into body cells and tissues binding to proteins, nucleic acids destroying these macromolecules and disrupting their cellular functions. As such, heavy metal toxicity can have several consequences in the human body. It can affect the central nervous function leading to mental disorder, damage the blood constituents and may damage the lungs, liver, kidneys and other vital organs promoting several disease conditions (Monisha et al., 2014; Jaishankar et al., 2014). The present study investigated heavy metal accumulation in the water, and fish near the municipal landfill area. Additionally, the estimated daily intake (EDI) and health risk index (HRI) were investigated.

Methods and Materials

Study area

The study site was the fishery pond located near a municipal landfill in the Um-mao sub-district, Thatphanom district, Nakornphanom province of Thailand with the latitude and longitude 16.8843799, 104.6795057. The distance between the affected reservoir and the municipal landfill was 50 m. A municipal landfill was located approximately 1 km from the nearest residential area. In the municipal landfill area, most of the untreated effluent flows into reservoir and a small stream, particularly in the rainy season, and then flows into the Mae Kong River. Major agricultural crops around this area are rice.

Water samples

Water samples were collected from fishery pond over a distance of 50 meters downstream of the municipal landfill with glass bottle samplers, which were previously washed and rinsed with deionized water. 6 water samples were collected at multiple locations in the water body. Water samples were taken directly with the bottle's mouth facing the flow of the water. The samples were directly acidified in the field to analyze the metal content by adding concentrated nitric acid until the pH was less than 2. Bottles, which already contained water samples, were labeled according to the sampling station and time. The samples were then put in a cool box and taken to the laboratory for metal analysis.

Fish samples

Fish were caught with a bottom trap net from 6 sample sites. Fish samples were transferred to a properly aerated cage made of bamboo. All fish was identified to species onsite by project scientists using a range of taxonomic keys and brought to the laboratory for heavy metal analysis. Muscles were removed with stainless steel scalpels and forceps, washed in distilled water, and then stored in polyethylene bags and frozen for metal analysis.

Sample preparation and analysis

Heavy metals in water analysis

Each water sample (25 mL) was put in a beaker, 1.25 mL of nitric acid was added to the beaker, and the beaker was covered with a watch glass. The beaker was then placed in a water bath at 90 ℃ for 30 min. After cooling, the digested samples were adjusted to a final volume of 25 mL with deionized water. The final suspended mixture was filtered through an 11-mm membrane filter with standard quantitative cellulose filter paper. The samples were analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) (Chand & Prasad, 2013).

Fish samples

The fish muscle samples were thawed and then homogenized with a laboratory blender and digested by adding 7 mL of nitric acid to 1 g of the weighted sample. One milliliter of hydrogen peroxide was then added and the samples were heated in a water bath for 2 h at 90 ℃. After cooling, the digested samples were adjusted with deionized water to a final volume of 25 mL. The final suspended mixture was filtered through an 11-mm membrane filter with standard quantitative cellulose filter paper. The fish tissues were analyzed by 5800 ICP-OES. The detection limits of each element analyzed were As: 0.006 mg/kg; Cd, Cr, Zn and Ni: 0.001 mg/kg; Pb: 0.005 mg/kg; Cu and Mn: 0.002 mg/kg. The ICP-OES wavelength analyses for As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu, Mn, and Zn were set to 188.979, 226.502, 267.716, 220.353, 231.604, 324.752, 259.327, and 213.857 nm, respectively. The accuracy of the metal concentrations was evaluated with certified reference material (CRM) via the standard 3111C method (APHA, 2005).

Estimated daily intakes (EDI) of heavy metals through fish consumption

The EDI of metals depends on both the metals concentration in food and the daily food consumption. In addition, the body weight of the human can influence the tolerance of pollutants. The EDI is a concept introduced to take into account these factors. The EDI was calculated as follows equation 1 (Fu et al., 2008):

$$EDI = (C \times Con)/Bw \quad (1)$$

where C (mg/kg) is the heavy metal concentration in fish, Con (kg/day) is the average daily consumption of fish in the region (0.052 kg/day); and BW (kg/person) is the average body weight of people in the region (65.30 kg).

Health risk index (HRI) for heavy metals via fish consumption

Health risk index (HRI) for heavy metals via fish consumption In this study, the HRI associated with fish consumption was defined as the ratio of the estimated daily intake of metals to the oral reference dose (RfDo) for each metal. The oral reference doses were 0.003, 1.50, 0.001, 0.004, 0.20, 0.30, 0.14 and 0.040 mg/kg/day for As, Cr, Cd, Pb, Ni, Zn, Mn and Cu, respectively (USEPA, 1997). The HRI was calculated with the following formula (USEPA, 2000)

$$HRI = EDI/RfDo \quad (2)$$

Statistical analysis

Descriptive statistic include mean and standard deviation were used in this study.

Results

Heavy metal concentrations in the water samples

Concentrations of heavy metals in water samples were shown in Table 1. The heavy metals concentration in water samples were within the standard except Zn and As (2.526±0.06 mg/L).

Table 1 Heavy metals concentration in water samples

Heavy metals	Water samples (mg/L) (N=6)	Standard[a]
As	0.011±0.01*	0.01
Cd	0.004±0.02	0.05
Cr	0.021±0.01	0.05
Cu	0.023±0.03	0.1
Mn	0.047±0.12	1.0
Ni	0.043±0.03	0.1
Pb	0.014±0.01	0.05
Zn	2.526±0.06*	1.00

[a] Water quality standards for surface water sources, *Exceed the standard

Heavy metal concentrations in fish samples

Concentrations of heavy metals in fish samples were shown in Table 2. The highest As (0.07±0.01 mg/kg), Ni (0.87±0.06 mg/kg), Pb (0.04±0.03 mg/kg) and Zn (47.06±1.33 mg/kg) were found in *S. Rasbora,* Cu (0.79±0.03 mg/kg) was found in *H. barb*, Cr (2.00±0.17 mg/kg) and Mn (8.29±0.24 mg/kg) were found in *T. microlepis*, and Cd (0.16±0.05 mg/kg) was found in *A. testudineus*. The Cr concentration in all fish species exceeded standard of Thailand's food quality standards.

Table 2 Heavy metal concentration in fish samples

Heavy metals	*C. striata*	*S. rasbora*	*H. barb*	*H. nemurus*	*T. microlepis*	*A. testudineus*	Standard[a]
As	0.04±0.01	0.07±0.01	0.04±0.01	0.04±0.01	0.04±0.01	0.06±0.01	0.1
Cd	0.40±0.03	0.06±0.01	0.05±0.01	0.05±0.02	0.07±0.01	0.16±0.05	0.5
Cr	1.41±0.03**	1.90±0.06**	1.57±0.08**	1.37±0.13**	2.00±0.17**	1.59±0.11**	1.0
Cu	0.49±0.02	0.66±0.04	0.79±0.03	0.51±0.11	0.71±0.04	0.59±0.06	-
Mn	4.42±0.19	4.06±0.44	2.88±0.14	2.56±0.36	8.29±0.24	3.74±0.17	-
Ni	0.61±0.01	0.87±0.06	0.86±0.04	0.70±0.12	0.80±0.11	0.79±0.07	-
Pb	0.03±0.01	0.04±0.03	ND*	0.03±0.01	ND*	ND*	0.3
Zn	38.87±0.22	47.06±1.33	43.09±0.84	45.06±1.53	45.80±0.35	47.72±1.52	200-600

[a]Thailand's food quality standards, * ND =Not Detected, ** Exceed the standard

Potential health risks from heavy metal exposure via fish consumption

The EDI and HRI values for heavy metal exposure via fish consumption are shown in Table 3 and Table 4. The highest EDI of Cd was found in *C. striata*, As, Pb and Zn were found in *S. Rasbora,* Cu and Ni were found in *H. barb*, Cr and Mn were found in *T. microlepis*. The HRI of heavy metals via fish consumption were less than 1 all fish species.

Table 3 The EDI of heavy metals via fish consumption

Heavy metals	EDI (µg/kg/day)						
	C. striata	*S. rasbora*	*H. barb*	*H. nemurus*	*T. microlepis*	*A. testudineus*	MTDI
As	0.032	0.056	0.032	0.032	0.032	0.048	1.00[c]
Cd	0.319	0.048	0.040	0.040	0.056	0.127	2.00[c]
Cr	1.123	1.513	1.250	1.091	1.593	1.266	1.00[a]
Cu	0.390	0.526	0.631	0.406	0.565	0.470	4.50[b]
Mn	3.520	3.233	2.293	2.039	6.602	2.978	11[d]
Ni	0.486	0.693	0.696	0.557	0.637	0.629	0.90[c]
Pb	0.024	0.034	ND	0.024	ND	ND	0.30[c]
Zn	30.953	35.438	34.314	35.882	34.435	38.001	40[d]

MTDI Maximum tolerable intake [a] FAO/WHO (2002), [b] FAO/WHO (2004), [c] JECFA (2005), [d] Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients (2001)

Table 4 The HRI of heavy metals via fish consumption

Heavy metals	*C. striata*	*S. rasbora*	*H. barb*	*H. nemurus*	*T. microlepis*	*A. testudineus*	RfDo (mg/kg/day)
As	0.106	0.186	0.106	0.106	0.106	0.159	0.0003
Cd	0.319	0.048	0.040	0.040	0.056	0.127	0.001
Cr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1.50
Cu	0.010	0.013	0.016	0.010	0.014	0.032	0.04
Mn	0.003	0.002	0.002	0.001	0.005	0.002	1.40
Ni	0.024	0.035	0.035	0.028	0.032	0.031	0.02
Pb	0.007	0.010	ND*	0.007	ND*	ND*	0.0035
Zn	0.103	0.151	0.114	0.120	0.148	0.127	0.30

*ND= not detected

Discussion

Heavy metal concentrations in the water samples

The Heavy metal concentrations in the water sample were within the water quality standards for surface water sources recommended by the Pollution Control Department in the Ministry of Natural Resources and Environment of Thailand except Zn (PCD, 1994). The Heavy metal concentrations in municipal landfill depend on various factors such as the composition of the waste, biochemical processes that occur in the degradation stages of the waste, amount of moisture, and the local parameters (Ma et al., 2018). The results of this study found that Zn is the highest concentration in water samples. Most of the Zn concentrations in the water from the municipal landfill are likely to be from spent battery. Since the solid waste in this site is not sorted. Portable batteries have become essential in supplying energy to various electronic devices such as remote controls. A considerable amount of battery wastes is generated due to the short lifespan. In particular, primary cells such as alkaline and zinc-carbon batteries are non-rechargeable and disposed of after one-off discharge. Hence, this can create serious environmental problems during disposal process as there

are hazardous components such as heavy metals (Nyame et al., 2012; Intamat et al., 2017; Phoonaploy et al., 2016; Sriuttha et al., 2017). Heavy metals contaminated in water samples were from leachate. Leachate causes the pollution of the surface water, groundwater and would finally be enriched in the sediments by adsorption, complexation, flocculation, and sedimentation (Wang et al., 2016). The improper leachate management in this area resulting in leachate spread to environment and organism. Landfill leachate is a concern since it is a complex mixture composed of several pollutants, such as heavy metals, soluble inorganic and organic compounds (Mavakala et al., 2016; Naveen et al., 2017).

Heavy metal concentrations in fish samples

This study investigated the heavy metal concentrations in local fish that were consumed by local people who live around municipal landfill. Six fish species, 30 samples were investigated. The Cr concentration in all fish species exceeded standard of Thailand's food quality standards. Whereas the other heavy metal concentrations were within the standard. This result indicates that to consume fish from this area may expose the Cr. The range of Cr concentrations in fish samples was 1.37-2.00 mg/kg. This result concurs with a previous study in the Khon Kaen municipal landfill (Sriuttha et al., 2017), in that the range of Cr concentration in four species of fish was 0.57-1.90 mg/kg. Hexavalent chromium (Cr (VI)) is the toxic form of chromium whereas trivalent form is relatively non-toxic (Velma et al., 2009). Cr (VI) has higher solubility or higher mobility rate in aquatic medium (Vinodini & Narayanan, 2009a). It can readily penetrate the gill membrane by the process of passive diffusion which is mediated by pH of the system; as a result, they are accumulated in fish which live in the surface water. Cr (VI) is allowed to enter easily into the cytoplasm of aquatic organisms (Vinodini & Narayanan, 2009b). Thus, it can be said chromium enters the body of the fishes mainly through the gills (Velma & Tchounwou, 2009). The

bioaccumulation of Cr depends upon size and organs. With subsequent increase in size and dimension, the concentration of Cr in soft tissues and shell is reduced substantially. Cr accumulation occurs differently in various sorts of tissues. Its concentration have found to be highest in gills, kidneys and liver of fish while hardly any tendency for Cr accumulation in muscular tissues (Sadiq, 1992). The high Cr concentrations were found in fish samples in this study. In addition, both physical and chemical properties of water and seasonal changes are the main factors accountable for the intensification of heavy metals in various types of fish tissues Cr accumulated in fish may affect the physical, behavioral, biochemical, histological alterations, genetic and immunological (Arunkumar et al., 2006). The aquatic toxicology of Cr depends on both biotic and abiotic factors. The biotic factors include the type of species, age and developmental stage. The temperature, concentration of Cr, oxidation state of Cr, pH, alkalinity, salinity, and hardness of water constitute the abiotic factors. Moreover, lethal and sub-lethal concentrations of the metal and its speciation also determine the sensitivity of the individual organism (Velma et al., 2009). Fish provides essential nutrients especially proteins. Local people eat fish regularly, thus they are at a risk of Cr exposure.

Potential health risks from heavy metal exposure via fish consumption

Fish consumption has been identified as one of the major pathway of human exposure to the toxic heavy metals. The EDI of heavy metals in all fish species were within the maximum tolerable intake (MTDI). This indicates that these fish might low risk of heavy metals to the consumers in the study area. Though the EDI of the studied metals were lower than the MTDI, but periodic surveillance will be necessary to set up regulatory norms for dietary intake of those fish species.

HRI are parameters for risk assessment which compare the ingestion amount of a pollutant with a standard reference dose and have been widely

used in the risk assessment of metals in contaminated foods. In the present study, the average HRI values for all the six fish species were below 1, which indicates that the intakes of metals by consuming these fish do not result in an appreciable hazard risk for the human body. HRI exceeding 1 indicates that the metals are toxic and present a hazard to human health (Li et al., 2013). Toxic heavy metals (Pb, Cd, As) are generally considered the most toxic to humans and animals; the adverse human health effects associated with exposure to them, even at low concentrations, are diverse and include, but are not limited to, neurotoxic and carcinogenic actions (Castro-González & Méndez-Armenta, 2008).

Suggestion

The public should be in control of the leachate, and increased public awareness is needed to reduce the risk to human health.

Conclusion

This is the first study that revealed heavy metals concentration in water and fish samples near Thatphanom municipal landfill. All of the samples contained heavy metals contamination, although the heavy metal concentrations were within the standard ranges allowed by Thailand food quality standard except Cr concentration in all fish species. It may be a potential source of human health risks for those living around the municipal landfill.

References

American Public Health Association (APHA). (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed, American Public Health Association, Washington DC, USA.

Arantes, F. P., Savassi, L. A., Santos, H. B., Gomes, M. V. T., & Bazzoli, N. (2016). Bioaccumulation of mercury, cadmium, zinc, chromium, and lead in muscle, liver, and spleen tissues of a large commercially valuable catfish species from Brazil. *Anaisda Academia Brasileira de Ciências*, 88, 137-147.

Arunkumar, R. I., Rajashekaran, P., & Michael, R. D. (2006). Differential effect of chromium compounds on the immune response of the African mouth breeder *Oreochromis mossambicus* (Peter). *Fish and Shellfish Immunology*, 10, 667-676.

Baun, D. L., & Christensen, T. H. (2004). Speciation of heavy metals in landfill leachate: a review. *Waste Management & Research*, *22*(1), 3-23.

Capelo, J., & Castro, de M. A. H. (2007). Measuring transient water flow in unsaturated municipal solid waste-A new experimental approach. *Waste Management*, 27, 811-819.

Castro-González, M. I., & Méndez-Armenta, M. (2008). Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology & Pharmacology*, 26, 263-271.

Chand, V., & Prasad, S. (2013). ICP-OES assessment of heavy metal contamination in tropical marine sediments: A comparative study of two digestion techniques. *Microchemical Journal*, 111, 53-61.

El-Fadel, M., Findikakis, A. N., & Leckie, J. O. (1997). Environmental Impacts of solid waste landfilling. *Journal of Environmental Management*, 50, 1-25.

FAO/WHO. (2002). Codex Alimentarius- General standards for contaminants and toxins in food. Schedule 1 maximum and guideline levels for contaminants and toxins in food. Joint FAO/WHO food standards programmer, Codex Committee, Rotterdam. Reference CX/FAC 02/16.

FAO/WHO. (2004). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO food additives series no. 52. World Health Organization, Geneva.

Fu, J., Zhou, Q., Liu, J., Lui, W., Wang, T., Zhang, Q., & Jiang, G. (2008). High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical open dumping of e-waste area in southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere*, 71, 1269-1275.

Hofer, R., Lackner, R., & Jeney, G. (1995). Fischtoxikologie: Theorie und Praxis. Gustav Fischer, Jena. Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. (2001). Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc Washington, DC: National Academy Press.

Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. (2001). Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington (DC): National Academies Press (US).

Intamat, S., Buasriyot, P., Sriuttha, M., Tengjaroenkul, B., & Neeratanaphan, L. (2017). Bioaccumulation of arsenic in aquatic plants and animals near a municipal landfill. *International Journal of Environmental Studies*, *74*(2), 303-314.

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7, 60-72.

JECFA. (2005). Codex general standard for contaminants and toxins in food and feeds. 64th meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), JECFA/64/CAC/RCP49-2001.

Kanmani, S., & Gandhimathi, R. (2013). Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. *Applied Water Science*, 3, 193-205.

Li, J., Huang, Z., Hu, Y., & Yang, H. (2013). Potential risk assessment of heavy metals by consuming shellfish collected from Xiamen, China. *Environmental Science and Pollution Research*, *20*(5), 2937-47.

Ma, W., Tai, L., Qiao, Z., Zhong, L., Wang, Z., Fu, K., & Chen, G. (2018). Contamination source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil around municipal solid waste incinerator: a case study in North China. *Science of the Total Environment*, 631, 348-357.

Mavakala, B. K., Faucheurb, S. L., Mulaja, C. K., Laffite, A., Devarajan, N., Biey, E. M., Giuliani, G., Otamonga, J. P., Kabatusuila, P., Mpiana, P. T., & Poté, J. (2016). Leachates draining from controlled municipal solid waste landfill: detailed geochemical characterization and toxicity tests. *Waste Management*, 55, 238-248.

Mishra, A. K., & Mohanty, B. (2008). Acute toxicity impacts of hexavalent chromium on behavior and histopathology of gill, kidney and liver of the freshwater fish, *Channa punctatus* (Bloch). *Environmental Toxicology Pharmacology*, 26, 136-141.

Monisha, J., Tenzin, T., Naresh, A., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, *7*(2), 60-72.

Mutia, T. M., Virani, M. Z., Moturi, W. N., Muyela, B., Mavura, J. W., & Lalah, J. O. (2012). Copper, lead and cadmium concentrations in surface water, sediment and fish, *C. carpio*, samples from Lake Naivasha: effect of recent anthropogenic activities. *Environmental Earth Sciences*, 67, 1121-1130.

Naveen, B., Mahapatra, D. M., Sitharam, T., Sivapullaiah, P., & Ramachandra, T. V. (2017). Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environmental Pollution*, 220, 1-12.

Nyame, F. K., Tigme, J., Kutu, J. M., & Armah, T. K. (2012). Environmental implications of the discharge of municipal landfill leachate into the Densu River and surrounding Ramsar wetland in the Accra Metropolis, Ghana. *Journal of Water Resource and Protection*, 4, 622-633.

Ogamba, E. N., Izah, S. C., & Omonibo, E. (2016). Bioaccumulation of hydrocarbon, toxic metals and minerals in Tympanotonus fuscatus from coastal region of Bayelsa State, Nigeria. *International Journal of Hydrology Research*, *1*(1), 1-7.

Paul, N., Chakraborty, S., & Sengupta, M. (2014). Lead toxicity on non-specific immune mechanisms of freshwater fish *Channa punctatus*. *Aquatic Toxicology*, 152, 105-112.

Pereira, L. S., Ribas, J. L. C., Vicari, T., Silva, S. B., Stival, J., Baldan, A. P., Valdez Domingos, F. X., Grassi, M. T., Cestari, M. M., Silva de Ogamba, E., Izah, S., & Isimayemiema, F. (2016). Bioaccumulation of heavy metals in the gill and liver of a common Niger Delta wetland fish, *Clarias garepinus*. *British Journal of Applied Physics*, 1,17-20.

Phoonaploy, U., Intamat, S., Tengjaroenkul, B., Sriuttha, M., Tanamtong, A., & Neeratanaphan, L. (2016). Evaluation of abnormal chromosomes in rice field frogs (*Fejervarya limnocharis*) from reservoirs affected by leachate with cadmium, chromium and lead contamination. *Environment Asia*, 9, 26-38.

Plessl, C., Otachi, E. O., Körner, W., Avenant-Oldewage, A., & Jirsa, F. (2017). Fish as bioindicators for trace element pollution from two contrasting lakes in the Eastern Rift Valley, Kenya: spatial and temporal aspects. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 19767-19776.

Pollution Control Department (PCD). (1994). Surface water quality standards. Notification of the National Environmental Board, No. 8. Bangkok: Thailand. Bangkok, Thailand.

Pollution Control Department (PCD). (2019). Thailand state of pollution report 2018. Control Department, Ministry of Natural Resources, Bangkok, Thailand.

Rikta, S., Tareq, S. M., & Uddin, M. K. (2018). Toxic metals (Ni^{2+}, Pb^{2+}, Hg^{2+}) binding affinity of dissolved organic matter (DOM) derived from different ages municipal landfill leachate. *Applied Water Science,* 8, 1-8.

Sadiq, M. (1992). Chromium in marine environment, Toxic Metal Chemistry Marcel Dekker, Inc. New York. 6, 154-197.

Sriuttha, M., Tengjaroenkul, B., Intamat, S. Phoonaploy, U., Thanomsangad, P., & Neeratanaphan, L. (2017). Cadmium, chromium, and lead accumulation in aquatic plants and animals near a municipal landfill. *Human and Ecological Risk Assessment*, *23*(2), 350-363.

US Environmental Protection Agency (USEPA). (1997). Exposure factors handbook-general factors. EPA/600/P-95/002Fa, vol. I. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.

US Environmental Protection Agency (USEPA). (2000). Risk base concentration table.US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.

Velma, V., Vutukuru, S. S., & Paul, B. T. (2009). Ecotoxicology of hexavalent chromium in freshwater fish: A critical review. *Reviews on Environmental Health*, *24*(2), 129-145.

Velma, V., & Tchounwou, P. B. (2009). Hexavalent chromium-induced multiple biomarker responses in liver and kidney of Gold fish, *Carassius auratus*. *Environmental Toxicology*, 26, 649-656.

Vinodini, R., & Narayanan, M. (2009a). Impact of toxic heavy metals on the haematological parameters in Common carp (*Cyprinus carpio* L), Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *6*(1), 23-28.

Vinodini, R., & Narayanan, M. (2009b). Heavy metal induced histopathological alterations in selected organs of *Cyprinus carpio* L (Common carp). *International Journal of Environmental Research*. *3*(1), 95-100.

Wang, A. J., Kawser, A., Xu, Y. H., Ye, Z., Rani, S., & Chen, K. (2016). Heavy metal accumulation during the last 30 years in the Karnaphuli river estuary, Chittagong, Bangladesh. *SpringerPlus, 5*(1), 1-14.

การจัดชั้นคุณภาพและช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด

FRUIT GRADING AND HARVESTING PERIOD AFFECTING FRUIT CHARACTERITIC AND QUALITY OF 'NOMSOD' JUJUBE

ธนดล ธาตุโลหะ, สมยศ มีทา, ศุภัชญา นามพิลา และ สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา*
Thanadol Thatloha, Somyot Meetha, Supatchaya Nampila
and Supat Isarangkool Na Ayutthaya*

สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University

Received: 21 August 2023 Revised: 24 November 2023 Accepted: 30 November 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดชั้นคุณภาพ และช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสดในพื้นที่อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์ ในปี พ.ศ. 2561/2562 โดยทำการศึกษาในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิตปี ดำเนินการในสวนพุทราของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized block design (RCBD) โดยการจัดชั้นคุณภาพผล ดำเนินการสุ่มผลในเดือนธันวาคม 2561 แบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ขนาดใหญ่พิเศษ (Jumbo), ขนาดใหญ่ (A), ขนาดกลาง (B) และขนาดเล็ก (C) และศึกษาผลของช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวในชั้นคุณภาพผล A, B และ C ใน 3 ช่วงเวลา คือ เดือนธันวาคม 2561, มกราคม 2562 และกุมภาพันธ์ 2562 ผลการศึกษา พบว่าพุทรามีผลชั้นคุณภาพ Jumbo น้อยที่สุด (3.28%) แต่มีผลชั้นคุณภาพ C มากที่สุด (47.13%) ซึ่งการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ พบว่า ผลชั้นคุณภาพ Jumbo มีน้ำหนักผล เนื้อผล และเมล็ด มากกว่าผลชั้นอื่นๆ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ส่วนที่รับประทานได้ ส่วนผลชั้นคุณภาพ C มีปริมาณ

* Corresponding author: สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา
E-mail: isupat@kku.ac.th

ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ต่ำที่สุด ($P<0.05$) แต่ผลชั้นคุณภาพ Jumbo มีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acid, TA) สูงที่สุด ($P<0.05$) ทำให้ผลชั้นคุณภาพ Jumbo มีสัดส่วน TSS/TA ต่ำที่สุด ($P<0.01$) ส่วนการศึกษาด้านช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวพบว่าในทุกชั้นคุณภาพพุทราที่มีการเก็บเกี่ยวในช่วงต้นฤดูกาล (เดือนธันวาคม) มีคุณภาพผลดีกว่าช่วงเดือนอื่นๆ

คำสำคัญ: พุทรานมสด, ชั้นคุณภาพ

Abstract

The aim of this study was to investigate the impact of fruit grading and harvesting timing on the physical characteristics and quality of 'NomSod' jujube. The research was conducted during the harvesting season of the 2018/2019 production year in the farmers' fields of Kham Muang District, Kalasin Province. The experimental design was completely randomized block design (RCBD). In the grading part, the jujube fruits were categorized into four classes: Jumbo, A, B, and C. Another experiment was carried out within three grading classes (A, B, and C) to assess the influence of harvesting timing on fruit characteristics and quality over three months: December 2018, January 2019, and February 2019. The findings revealed that the percentage of Jumbo-class jujube fruits was the lowest at 3.28%, while the C-class had the highest representation at 47.13%. In terms of fruit characteristics, Jumbo-class jujube had the highest weight; pulp weight, and seed weight. However, there were no significant differences in the proportion of edible parts among the different class grades. Regarding class quality, it was observed that Class C jujube had the lowest total soluble solids (TSS) content ($P<0.05$), whereas Jumbo-class jujube had the highest titratable acid (TA) content ($P<0.05$). This resulted in Jumbo-class jujube

having the lowest TSS/TA ratio (P<0.01). In addition, the study on harvesting timing indicated that jujube fruits harvested early in the season (December) exhibited superior quality compared to those harvested in other months

Keywords: 'NomSod' jujube, grading

บทนำ

พุทราพันธุ์นมสด, *Ziziphus mauritiana* 'Nomsod' หรือเรียกตามพื้นที่ปลูกว่า พุทราบ้านโพน เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยได้รับการรับรองคุณภาพการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (good agricultural practice, GAP) และอาหารปลอดภัยของจังหวัดกาฬสินธุ์ (Kalasin Food Safety) โดยพุทราในตำบลโพน อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์ เริ่มปลูกพุทราในปี พ.ศ. 2526 ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นมากกว่า 1,600 ไร่ ได้ผลผลิตไร่ละประมาณ 4-5 ตัน สามารถเก็บผลผลิตได้ประมาณ 4 เดือนต่อปีในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคมของทุกปี (สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา และคณะ, 2563) สำหรับระบบการผลิตพุทราเป็นแบบกางมุ้งตาข่ายสีขาวในช่วงที่พุทราอยู่ในช่วงให้ติดผลและผลมีการเจริญเติบโต และมีการเก็บมุ้งในช่วงที่พุทรามีการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ ลักษณะการผลิตพุทราในพื้นที่นี้อยู่ในรูปแบบเกษตรกรรายย่อยมีพื้นที่ปลูกพุทราประมาณ 3-10 ไร่ต่อราย (จรรยา สัตตานุสรณ์ และคณะ, 2563) โดยทั่วไปพุทราสามารถจัดอยู่ในกลุ่มทั้งไม้ผลเขตร้อน (tropical fruit) และไม้ผลเขตกึ่งร้อน (sub-tropical fruit) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ กลุ่ม *mauritiana* และ *jujuba* (Anjum et al., 2018) โดยพุทราที่ปลูกในประเทศไทยน่าจะจัดอยู่ในกลุ่ม *mauritiana* หรือเรียกว่า Indian jujube เนื่องด้วยต้นพุทรามีลักษณะไม่ทิ้งใบหรือเขียวตลอดปี ส่วนกลุ่ม *jujuba* จะเป็นไม้ผลัดใบ ซึ่งเรียกพุทรากลุ่มนี้ว่า Chinese Jujube (Azam-Ali et al., 2006)

ระบบการผลิตของพุทราบ้านโพน มีการตัดแต่งกิ่งในเดือนเมษายน และมีการจัดทรงพุ่มแบบแผ่กิ่งก้านบนค้างสูงจากพื้นดินประมาณ 1.5 เมตร ในลักษณะคล้ายกับการจัดการทรงพุ่มขององุ่น และพุทราเริ่มมีการออกดอกในเดือนตุลาคมถึงธันวาคม โดยทั่วไปพุทรามีช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของผลจนถึงระยะเก็บเกี่ยวประมาณ 90-120 วันหลังออกดอก (Ma et al., 2021; Niyanut et al., 2021) ซึ่งลักษณะการออกดอกของพุทราที่มีการ

กระจายตัว ส่งผลให้การเก็บเกี่ยวผลผลิตมีการกระจายตัวด้วยในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และในด้านคุณภาพผลผลิตของพุทราพบว่าพุทรามีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA) เพิ่มขึ้นตามอายุผลจนสูงสุดในช่วงที่ผลเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) หรือระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว (Niyanut et al., 2021) อย่างไรก็ตามจากการกระจายตัวของผลผลิตในระยะเก็บเกี่ยว น่าจะส่งผลให้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกันด้วย

นอกจากนี้ระบบการจำหน่ายพุทราของพื้นที่ดังกล่าวมีการจัดคุณภาพ (grading) แบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ขนาดใหญ่พิเศษ (Jumbo), ขนาดใหญ่ (A), ขนาดกลาง (B) และขนาดเล็ก (C) โดยราคาจำหน่ายของแต่ละขนาดมีราคาเฉลี่ยต่อกิโลกรัม ดังนี้ ชั้นคุณภาพ Jumbo และ A มีราคาเฉลี่ย 25-35 บาท, ชั้นคุณภาพ B มีราคาเฉลี่ย 15-25 บาท และชั้นคุณภาพ C มีราคาเฉลี่ย 5-15 บาท ซึ่งแต่ละชั้นคุณภาพมีความแตกต่างทั้งในแง่ลักษณะขนาดผลและคุณภาพผล โดยทั่วไปลักษณะผลและคุณภาพผลมีความผันแปรเนื่องจากพันธุ์และการจัดการแปลง รวมถึงช่วงเวลาการเจริญเติบโตของผล และการเก็บเกี่ยว (Islam et al., 2015) ซึ่งพุทรานมสดยังขาดข้อมูลความแตกต่างของลักษณะผลรวมทั้งคุณภาพผล อันเนื่องมาจากชั้นคุณภาพและช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวในรอบปีการผลิตตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชั้นคุณภาพผล 4 ชั้นคุณภาพ และช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการการผลิตพุทราอย่างมีคุณภาพต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาผลของการจัดชั้นคุณภาพและช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด ดำเนินการในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกพุทราในพื้นที่ตำบลบ้านโพน อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยทำการศึกษาในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตระหว่างเดือนธันวาคม 2561 - มีนาคม 2562 โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ ผลของการจัดชั้นคุณภาพต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด และผลของช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด โดยมีรายละเอียดดังนี้

งานทดลองที่ 1 ผลของการจัดชั้นคุณภาพต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด

ทำการคัดเลือกต้นพุทรา 5 ต้น จากสวนที่มีใบรับรองสวนตามการเกษตรที่ดี (GAP) ในสวนเดียวกันที่มีขนาดใกล้เคียงกันซึ่งมีขนาดทรงพุ่มกว้าง 3.5 เมตร ลักษณะสวนเป็นพื้นที่ดอน กลุ่มชุดดินที่ 40 (กลุ่มดินร่วนหยาบลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดเนื้อหยาบ) ตามข้อมูลของระบบนำเสนอแผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25000 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2563) และการเก็บเกี่ยวผลพุทราในเดือนธันวาคม 2561 แล้วนำมาคัดแยกชั้นคุณภาพตามวิธีการของเกษตรกร โดยแบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ขนาดใหญ่พิเศษ (Jumbo) ขนาดใหญ่ (A) ขนาดกลาง (B) และขนาดเล็ก (C) วางแผนการทดลองแบบ completely randomized block design (RCBD) ทำการสุ่มตัวอย่างแต่ละต้นในแต่ละชั้นคุณภาพ จำนวน 15 ผล รวมทั้งหมด 45 ผล ของแต่ละชั้นคุณภาพ การวัดน้ำหนักผลและขนาดผล และทำการวัดน้ำหนักเนื้อผลที่รับประทานได้กับน้ำหนักเมล็ด หลังจากนั้นนำเนื้อผลมาประเมินความแน่นเนื้อ (firmness) ด้วยเครื่อง Force Gauge (FG520K, Daiichi, Japan) แล้วทำการคั้นน้ำจากเนื้อผลเพื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ด้วยเครื่อง refractometer (PAL-1; Atago Co. Ltd., Japan) นำน้ำคั้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร มาหาเปอร์เซ็นต์กรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA) โดยใช้สารละลายมาตรฐาน 0.1 N NaOH โดยใช้ 1% Phenolphthelein ปริมาณ 1-2 หยด เป็น indicator ทำการไทเทรตจนถึงจุดยุติโดยสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู ตามวิธีของ AOAC (1990)

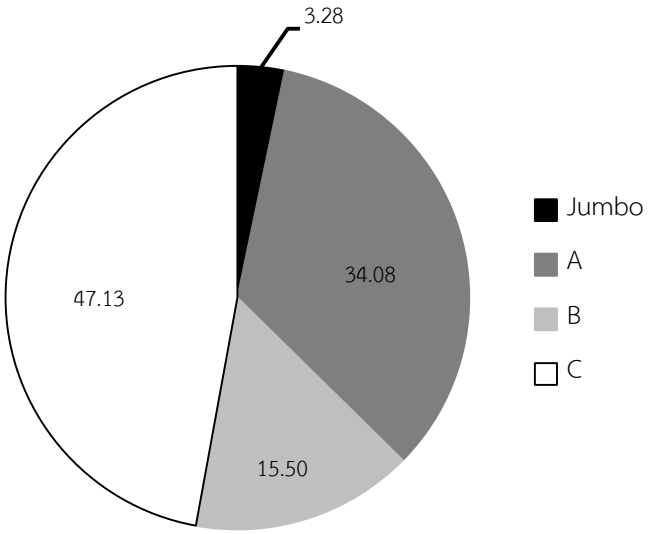
งานทดลองที่ 2 ผลของช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผล

ทำการศึกษาช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่ผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผล โดยคัดเลือกพุทราจำนวน 5 ต้น completely randomized block design (RCBD) ใช้ผลพุทราในชั้นคุณภาพ A B และ C โดยแบ่งช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ เดือนธันวาคม 2561 มกราคม 2562 และกุมภาพันธ์ 2562 โดยแต่ละชั้นคุณภาพลมีผลตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา แล้วนำตัวอย่างผลมาวัดลักษณะผล และคุณภาพผลตามวิธีการวัดลักษณะและคุณภาพผลในส่วนที่ 1

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สัดส่วนของผลแต่ละการจัดชั้นผลตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว

การจัดชั้นผลของพุทรานมสดแบ่งออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่ ขนาดใหญ่พิเศษ (Jumbo) ขนาดใหญ่ (A) ขนาดกลาง (B) และขนาดเล็ก (C) โดยการหาสัดส่วนของแต่ละชั้นผลโดยการบันทึกข้อมูลการเก็บเกี่ยวผลทั้งหมดบนต้น พบว่าพุทรามีผล Jumbo น้อยที่สุด (3.28%) และมีผลชั้น C มากที่สุด (47.13%) ดังรูปที่ 1 และในรอบการเก็บเกี่ยวเดือนธันวาคม 2561 - เดือนมีนาคม 2562 โดยผลขนาด Jumbo จะมีในช่วงต้นฤดูการเก็บเกี่ยวเดือนธันวาคมเท่านั้น ซึ่งเป็นช่วงแรกที่พุทราเริ่มมีการติดผลและจำนวนผลบนต้นยังมีไม่มากนัก ซึ่งจากความสัมพันธ์ของขนาดผลและราคาจำหน่าย การจัดการที่สำคัญต้องหาวิธีการจัดการเพื่อเพิ่มสัดส่วนผลผลิตในชั้นคุณภาพ Jumbo และชั้นคุณภาพ A ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น อย่างเช่นวิธีการจัดการน้ำและปุ๋ยอย่างเหมาะสม เป็นต้น โดยเฉพาะในช่วงที่พุทราอยู่ต้นฤดูของการติดผล



รูปที่ 1 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนการจัดชั้นของผลพุทราต่อต้นจากการเก็บเกี่ยวผลทั้งหมดบนต้น โดยแบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ

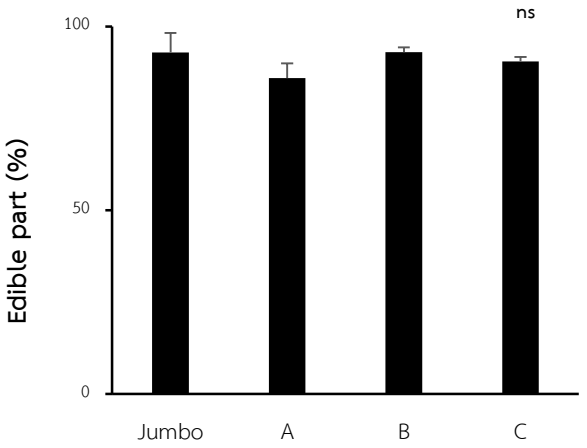
ลักษณะผลของพุทราตามการจัดชั้นคุณภาพ

การศึกษาลักษณะผลของพุทราทั้ง 4 ชั้นคุณภาพ (ตารางที่ 1) พบว่า ผล Jumbo ใหญ่ที่สุด (ความกว้างความยาว และน้ำหนักผล เท่ากับ 51.48 mm 58.28 mm และ 106.43 g ตามลำดับ) ผลชั้นคุณภาพ A มีขนาดเล็กกว่า ผล Jumbo ประมาณ 2.5 เท่า ($P<0.01$) ส่วนผลชั้นคุณภาพ B และ C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ สอดคล้องกับส่วนที่รับประทานได้ส่วนเนื้อผล (pulp) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักผลทั้งหมด ส่วนน้ำหนักเมล็ดพบว่าผล Jumbo มีเมล็ดใหญ่ที่สุด แต่ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักเมล็ดในผลชั้นคุณภาพ A B และ C และเมื่อพิจารณาในด้านรูปทรงผลจากความกว้างและความยาวผลพุทราพันธุ์นมสดมีลักษณะผลทรงกลม (round shape) เนื่องด้วยการพิจารณาดัชนีรูปร่าง (shape index) จากสัดส่วนของความยาวผลและความกว้างผลตามวิธีของ Abdel-Sattar et al. (2021) พบว่าพุทราทุกชั้นคุณภาพมีค่า shape index อยู่ในช่วง 116-128 ซึ่งโดยปกติพุทราแต่ละสายพันธุ์มีรูปทรงผลที่แตกต่างกันไป สำหรับการประเมินสัดส่วนที่รับประทานได้ของผลพุทราที่ 4 ชั้นคุณภาพไม่พบความแตกต่างทางสถิติ โดยมีสัดส่วนที่รับประทานได้ของผลอยู่ระหว่าง 86-93 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 2)

ตารางที่ 1 ลักษณะผลของพุทราตามการจัดชั้นคุณภาพต่างๆ ได้แก่ Jumbo A B และ C ในรอบปีการผลิต 2561/2562 โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2562

Grade	Whole (g)	Pulp (g)	Seed (g)	Width (mm)	Length (mm)
Jumbo	106.43±13.57 A	98.87±12.41 A	4.71±0.90 A	51.48±4.74 AB	58.28±1.62 A
A	40.59±9.09 B	34.89±10.05 B	1.86±0.40 B	39.80±2.83 B	43.00±4.35 B
B	26.65±4.07 C	24.79± 4.03 C	1.31±0.20 B	34.68±1.93 C	38.57±2.09 C
C	18.21±2.41 C	16.48± 2.88 C	1.26±0.82 B	30.85±0.98 D	33.34±1.39 D
F-Test	**	**	**	**	**

หมายเหตุ: ** มีความแตกต่างทางสถิติโดย $P < 0.01$



รูปที่ 2 เปอร์เซ็นต์ส่วนที่รับประทานได้ของผลพุทราพันธุ์นมสด 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ Jumbo A B และ C

หมายเหตุ: แถบคลาดเคลื่อนแนวตั้ง คือ standard deviation

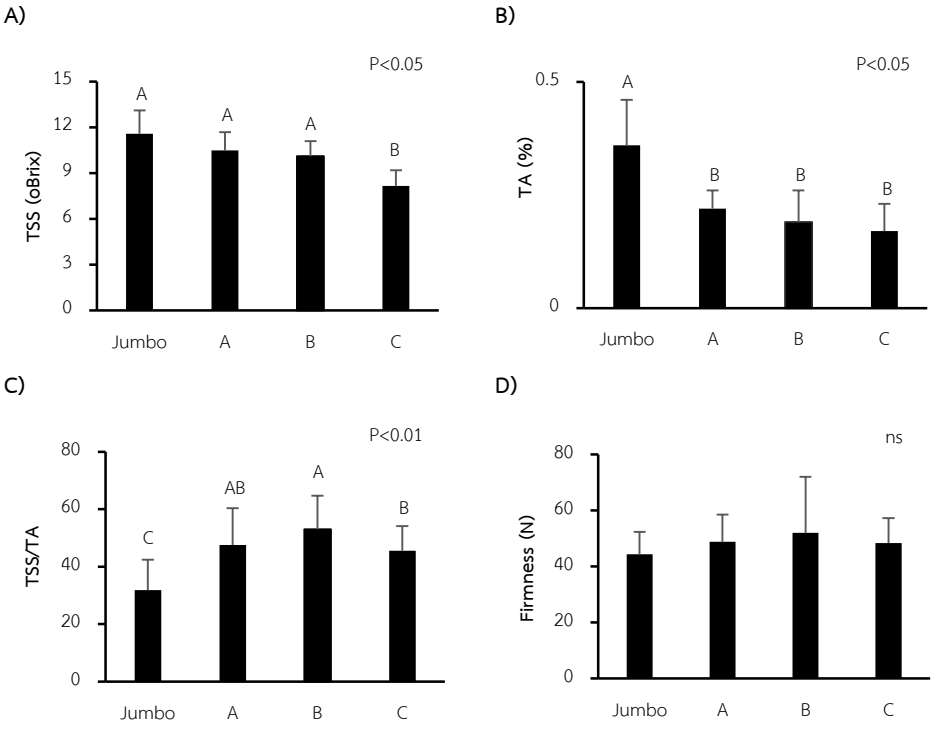
ผลของชั้นคุณภาพต่อคุณภาพผล

การศึกษาคุณภาพผลของผลแต่ละชั้นคุณภาพ ได้ทำการศึกษาปริมาณ TSS, TA, สัดส่วนของ TSS/TA และความแน่นเนื้อผล (รูปที่ 3) พบว่าผลขนาด Jumbo A และ B มีปริมาณ TSS ไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนผลชั้นคุณภาพ C มีปริมาณ TSS น้อยที่สุด ($P<0.05$) แต่การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ TA พบว่าผล Jumbo มีเปอร์เซ็นต์ TA สูงที่สุด ($P<0.05$) สอดคล้องกับสัดส่วนของ TSS/TA ผล Jumbo มีค่าต่ำที่สุด ($P<0.01$) ซึ่งส่งผลให้ผล Jumbo มีรสชาติอมเปรี้ยวอมหวาน ส่วนความแน่นเนื้อไม่พบความแตกต่างด้านความแน่นเนื้อของผลทุกชั้นคุณภาพ จากการเปรียบเทียบคุณภาพผลของพุทราพันธุ์นมสดในการศึกษาครั้งนี้กับงานวิจัยที่ได้ดำเนินการมาก่อนหน้า พบว่าพุทราพันธุ์นมสดมีค่าเฉลี่ยของปริมาณ TSS และเปอร์เซ็นต์ TA ต่ำกว่ารายงานของพุทราในกลุ่ม Indian group เล็กน้อย โดยค่าเฉลี่ย TSS และ TA ในรายงานของ (Abdel-Sattar et al., 2021) มีค่าอยู่นช่วง 13.43-23.55 $^{\circ}$Brix และ 0.38-1.27% ตามลำดับ ซึ่งน่าจะเกิดจากความผันแปรของพันธุ์พุทราที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในรายงานคุณภาพผลพุทราในกลุ่ม Indian group โดย Islam et al. (2015) และ Niyanut et al. (2021) พบว่ามีค่า TSS TA และสัดส่วน TSS/TA มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาครั้งนี้ ส่วนความแน่นเนื้อซึ่งไม่พบความแตกต่างในทุกชั้นคุณภาพผล แสดงให้เห็นว่า

ความกรอบของผลพุทราในแต่ละชั้นคุณภาพผลมีความใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ผลิตพุทรา พบว่าพุทราในชั้นคุณภาพ A และ B ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุดน่าจะเกิดจากผลพุทรามีความกรอบที่เหมาะสม และมีรสชาติดีด้วย โดยแสดงด้วยสัดส่วนระหว่าง TSS/TA ดีกว่าผลพุทราชั้นคุณภาพ C ส่วนผลชั้นคุณภาพ Jumbo ได้รับการยอมรับในเรื่องขนาดผลดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค

ผลของช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผล

การศึกษาช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพ ได้ดำเนินการในผลชั้นคุณภาพ A, B และ C เนื่องด้วยผล Jumbo เฉพาะในช่วงที่พุทราติดผลช่วงแรกในเดือนธันวาคม ซึ่งพบว่าลักษณะทางกายภาพของผล ได้แก่ น้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อผล น้ำหนักเมล็ด ความกว้าง และความยาวผล มีแนวโน้มไม่พบความแตกต่างทางสถิติของลักษณะทางกายภาพของผลพุทราในแต่ละช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ (ตารางที่ 2) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลในแต่ละช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว พบว่าผลชั้นคุณภาพ A และ B ที่เก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคมและมกราคม ผลมีปริมาณ TSS สูงกว่าผลที่เก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนเปอร์เซ็นต์ TA มีเฉพาะผลชั้นคุณภาพ A ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์ TA เก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคมและมกราคมมีสูงกว่าผลที่เก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ ($P<0.05$) ส่วนสัดส่วนของ TSS/TA ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวของทุกชั้นคุณภาพผล สำหรับความแน่นเนื้อผลชั้นคุณภาพ B และ C ที่เก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคมมีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลที่เก็บเกี่ยวในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ($P<0.05$) จากการศึกษารายงานที่ผ่านมา (Abdel-Sattar et al., 2021; Islam et al., 2015 และ Niyanut et al., 2021) ไม่พบงานวิจัยที่สนใจในประเด็นลักษณะผลและคุณภาพผลในช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ซึ่งการที่พุทราสามารถเก็บเกี่ยวผลได้นานประมาณ 3 เดือนเกิดเนื่องจากพุทรามีช่วงระยะเวลาการออกดอกที่แตกต่างกันสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของผล โดยรายงานของ Islam et al. (2015) และ Niyanut et al. (2021) ได้แสดงช่วงอายุการพัฒนาของผลพุทราในกลุ่ม Indian group อยู่ในช่วง 90-120 วันหลังออกดอก



รูปที่ 3 ผลของชั้นคุณภาพ 4 ชั้น (Jumbo, A, B และ C) ต่อคุณภาพผล ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS; A) เปอร์เซ็นต์กรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA; B), สัดส่วนTSS/TA (C) และความแน่นเนื้อ (firmness; D) ของพุทราพันธุ์นมสด ในรอบปีการผลิต 2561/2562

หมายเหตุ: แถบคลาดเคลื่อนแนวตั้ง คือ standard deviation และการกำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ P=0.05

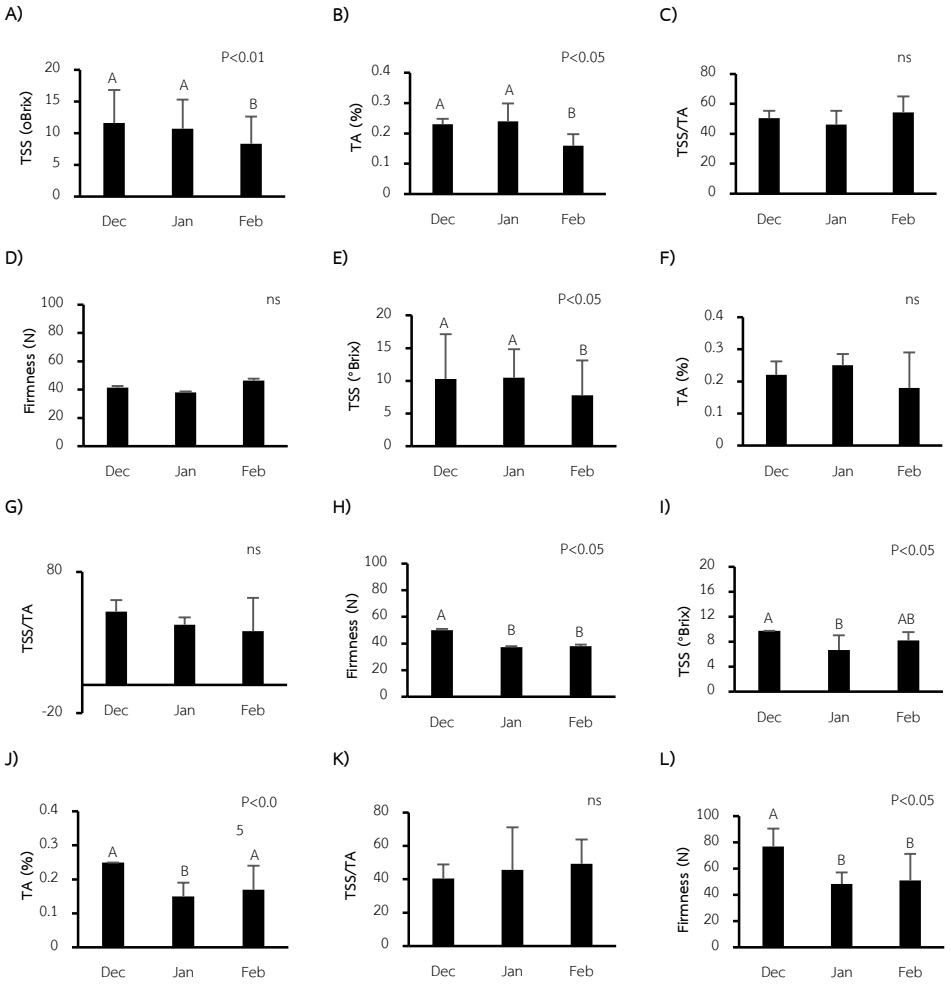
การศึกษาในการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าพุทราต้นฤดู (ธันวาคมและมกราคม) ผลพุทรามีคุณภาพผลที่ดีกว่าปลายฤดูในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญที่เกษตรกรน่าจะพิจารณาการจัดการเพื่อให้ผลผลิตพุทรามีคุณภาพสม่ำเสมอตลอดช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว ซึ่งสาเหตุที่ผลผลิตปลายฤดูมีคุณภาพด้อยกว่าต้นฤดู อาจเกิดเนื่องจากต้นฤดูพุทรามีการใช้คาร์โบไฮเดรตสะสมหรือคาร์โบไฮเดรตที่ไม่อยู่ในรูปโครงสร้าง (total non-structural carbohydrate, TNC) ไปในการพัฒนาผลในช่วงต้นฤดูมาก ทำให้เหลือ TNC ในช่วงปลายฤดูน้อยลง คุณภาพผลของพุทราปลายฤดูจึงลดลง ซึ่ง Galindo et al. (2015) พบว่าต้นพุทรา

ที่มีผลผลิตมากส่งผลให้คุณภาพผลมีคุณภาพลดลงได้ นอกจากนี้พุทรามีการแตกใบอ่อนใหม่เพิ่มขึ้นในช่วงปลายเดือนมกราคม หลังจากที่ให้ผลผลิตไปช่วงหนึ่งแล้วทำให้เกิดการแย่ง TNC ระหว่างใบอ่อนกับผลผลิตที่พร้อมเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพผลในด้านรสชาติลดลง ทั้งนี้งานทดลองต่อไปอาจศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ TNC ในใบ หรือการกระจายของธาตุอาหารบางชนิด เช่น ไนโตรเจน และโพแทสเซียม (Galindo et al., 2015 และ Isarangkool Na Ayutthaya., 2019) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการพัฒนาคุณภาพของผลไม้เพื่อให้เกิดความชัดเจนของสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพผลของพุทราต่อไป

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของผลพุทราพันธุ์นมสด ได้แก่ น้ำหนักผลทั้งหมด (whole fruit), น้ำหนักเนื้อ (pulp), น้ำหนักเมล็ด (seed) ความกว้าง (width) และความยาวผล (length) ในช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2562

Month	Whole fruit (g)	Pulp (g)	Seed (g)	Width (mm)	Length (mm)
Grade A					
Dec	38.12±11.83	36.43±11.43	1.69±0.53	39.35±3.71	42.54±6.73
Jan	37.05± 5.60	31.22± 7.15	1.87±0.13	41.41±1.69	45.18±2.43
Feb	38.52±6.83	32.03± 6.99	1.78±0.27	40.01±2.70	45.54±3.37
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
Grade B					
Dec	26.24±5.57	25.22±4.69	1.26±0.15	34.66±2.23 B	35.02±2.53
Jan	25.43±3.85	22.48±3.81	1.22±0.31	35.44±1.46 B	35.71±1.41
Feb	25.09±5.57	22.32±4.69	1.36±0.15	38.15±2.23 A	38.44±2.53
F-test	ns	ns	ns	*	ns
Grade C					
Dec	20.06±3.20 AB	17.98±4.24	1.90±1.66 AB	31.90±1.71	33.74±1.40
Jan	17.60±3.27 B	15.34±3.01	1.15±0.22 B	31.71±1.32	33.62±2.79
Feb	21.90±0.70 A	19.48±0.58	2.50±0.23 A	35.61±0.92	39.40±2.89
F-test	**	ns	**	ns	ns

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติโดย * มีความแตกต่างทางสถิติโดย $P < 0.05$ และ ** มีความแตกต่างทางสถิติโดย $P < 0.01$



รูปที่ 4 ผลของช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2562 (รอบปีการผลิต 2561/2562) ที่มีต่อคุณภาพผล ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) เปอร์เซ็นต์กรดทไตเตรทได้ (titratable acidity, TA), สัดส่วน TSS/TA และความแน่นเนื้อ (firmness) ของผลชั้นคุณภาพต่างๆ โดยรูป A ถึง D แสดงผลผลิตชั้นคุณภาพ A, รูป E ถึง H แสดงผลผลิตชั้นคุณภาพ B และรูป I-J แสดงผลผลิตชั้นคุณภาพ C

หมายเหตุ: แถบคลาดเคลื่อนแนวตั้ง คือ standard deviation และการกำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ P=0.05

สรุปผลการวิจัย

ผลการจัดชั้นคุณภาพต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด พบว่าผล Jumbo มีน้ำหนักผล เนื้อผล และเมล็ด มากกว่าผลชั้นอื่นๆ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ส่วนที่รับประทานได้ ส่วนด้านคุณภาพผลพบว่าผลชั้น C มีปริมาณ TSS ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามผล Jumbo มีปริมาณ TA สูงที่สุด สอดคล้องกับการที่ผล Jumbo มีสัดส่วน TSS/TA ต่ำที่สุด และช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผลพุทราพันธุ์นมสด พบว่าพุทราในทุกชั้นคุณภาพผลที่เก็บเกี่ยวในช่วงต้นฤดูกาล (เดือนธันวาคม) มีคุณภาพผลดีกว่าช่วงเดือนอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากโปรแกรมวิจัย “การพัฒนาการวิจัยทางด้านยางพาราและไม้ผลศักยภาพในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ” มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. (2563). *แผนที่กลุ่มชุดดิน มาตราส่วน 1:25,000* ค้นเมื่อ ธันวาคม 2564. http://eis.ldd.go.th/SoilView.aspx.

จรรยา สัตตานุสรณ์, ไชยธีระ พันธุ์ภักดี และ สุกัลยา เชิญขวัญ. (2563). ลักษณะทางสังคมนิเวศที่มีผลต่อพฤติกรรมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกพุทราในจังหวัดกาฬสินธุ์. *วารสารเกษตรพระวรุณ. 17*(2): 333-348.

สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, รำไพ นามพิลา และ สมยศ มีทา. (2563). *การจัดการธาตุอาหารและน้ำตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, กรุงเทพฯ.

Abdel-Sattar, M., Almutairi, K. F., Al-Saif, A. M., & Ahmed, K. A. (2021). Fruit properties during the harvest period of eleven Indian jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) cultivars. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, 3424–3432.

Anjum, M. A., Rauf, A., Bashir, M. A., & Ahmad, R. (2018). The evaluation of biodiversity in some indigenous Indian jujube (*Zizyphus mauritiana*) germplasm through physico-chemical analysis. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 17*(4), 39–52.

A.O.A.C. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th edition, Arlington, Virginia, Association of Official Agricultural Chemists, Inc.

Azam-Ali, S., Bonkoungou, E., Bowe, C., deKock, C., Godara, A, & Williams, J. T. (2006). Ber and other jujubes, In: Williams, J., T., Smith, R.W., Haq, N., & Dunsiger, Z. (2006). *Fruits for the Future*. 2 Edition, International Centre for Underutilized Crops, University of Southampton, Southampton, UK.

Galindo, A., Noguera-Artiaga, L., Cruz, Z., Burl´o, F., Hern´andez, F., Torrecillas, A., & Carbonell-Barrachina, ´A. (2015). Sensory and physico-chemical quality attributes of jujube fruits as affected by crop load. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 899–905.

Isarangkool Na Ayutthaya, S., Kawphaitoon, S., & Techawongstien, S. (2019). Effect of crop load on fruit size and nutrients in fruit parts of mango 'Num Dok Mai Sithong'. *Acta Horticulturae*. 1244: 101-107.

Islam, M. N., Molla, M. M., Nasrin, T. A. A., Uddin, A. S. M. M., & Kobra, K. (2015). Determination of maturity indices of ber (*Zizyphus mauritiana* Lam.) var. barikul-2. Bangladesh. *Journal of Agricultural Research*, *40*(1), 163–176.

Ma, Y., Zhang, D.;Wang, Z., Song, L. & Cao, B. (2021). Fruit Morphology Measurements of Jujube Cultivar 'Lingwu Changzao' (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Lingwuchangzao) during Fruit Development. *Horticulturae*, 7, 26.

Niyanut, S., Nampila, R., Techawongstien, S., Isarangkool Na Ayutthaya. S., & Meetha, S. (2021). The impact of harvest time on the quality of Indian jujube 'Nomsod' produced in northeastern Thailand. *Acta Horticulturae*, 1312, 493-497.

สมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq}$ และ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq}$

ON THE DIOPHANTINE EQUATIONS $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq}$ AND $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq}$

สุธน ตาดี*
Suton Tadee*

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

Received: 7 October 2023 Revised: 6 November 2023 Accepted: 24 November 2023

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีจำนวนในการแสดงผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสองสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq}$ และ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq}$ เมื่อ a,b,n เป็นจำนวนเต็มบวก และ p,q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p>nq$ ผลการวิจัยพบว่าผลเฉลยทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq}$ คือ

$$\begin{aligned}(a,b,p,q,n) \in & \{(2q,2q,nq+1,q,n)\} \\ & \cup \{(q(q+1),q+1,nq+1,q,n)\} \\ & \cup \{(pq,p,p,q,1)\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{p(p+q)}{nq+1},\tfrac{q(p+q)}{nq+1},p,q,n\right):\tfrac{p+q}{nq+1}\in\mathbb{Z}\right\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{pq(p+1)}{nq+1},\tfrac{q(p+1)}{nq+1},p,q,n\right):\tfrac{p+1}{nq+1}\in\mathbb{Z}\right\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{pq(pq+1)}{nq+1},\tfrac{pq+1}{nq+1},p,q,n\right):\tfrac{pq+1}{nq+1}\in\mathbb{Z}\right\}\end{aligned}$$

และผลเฉลยทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq}$ คือ

* Corresponding author: สุธน ตาดี
E-mail: suton.t@lawasri.tru.ac.th

$$\begin{aligned}(a,b,p,q,n) \in & \{(2p,p,p,2,2)\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{p(p+q)}{nq-1}, \tfrac{q(p+q)}{nq-1}, p, q, n\right) : \tfrac{p+q}{nq-1} \in \mathbb{Z}\right\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{pq(p+1)}{nq-1}, \tfrac{q(p+1)}{nq-1}, p, q, n\right) : \tfrac{p+1}{nq-1} \in \mathbb{Z}\right\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{pq(pq+1)}{nq-1}, \tfrac{pq+1}{nq-1}, p, q, n\right) : \tfrac{pq+1}{nq-1} \in \mathbb{Z}\right\}\end{aligned}$$

เมื่อ $n > 1$

คำสำคัญ: สมการไดโอแฟนไทน์, ผลเฉลยจำนวนเต็มบวก, เศษส่วนอียิปต์

Abstract

In this paper, by using elementary concepts of number theory, we show all positive integer solutions of two Diophantine equations $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq}$ and $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq}$, where a,b,n are positive integers and p,q are prime numbers with $p > nq$. The research results showed that all solutions of the equation $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq}$ are

$$\begin{aligned}(a,b,p,q,n) \in & \{(2q,2q,nq+1,q,n)\} \\ & \cup \{(q(q+1),q+1,nq+1,q,n)\} \\ & \cup \{(pq,p,p,q,1)\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{p(p+q)}{nq+1}, \tfrac{q(p+q)}{nq+1}, p, q, n\right) : \tfrac{p+q}{nq+1} \in \mathbb{Z}\right\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{pq(p+1)}{nq+1}, \tfrac{q(p+1)}{nq+1}, p, q, n\right) : \tfrac{p+1}{nq+1} \in \mathbb{Z}\right\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{pq(pq+1)}{nq+1}, \tfrac{pq+1}{nq+1}, p, q, n\right) : \tfrac{pq+1}{nq+1} \in \mathbb{Z}\right\}\end{aligned}$$

All solutions of the equation $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq}$ are

$$\begin{aligned}(a,b,p,q,n) \in & \{(2p,p,p,2,2)\} \\ & \cup \left\{\left(\tfrac{p(p+q)}{nq-1}, \tfrac{q(p+q)}{nq-1}, p, q, n\right) : \tfrac{p+q}{nq-1} \in \mathbb{Z}\right\}\end{aligned}$$

$$\cup \left\{\left(\frac{pq(p+1)}{nq-1}, \frac{q(p+1)}{nq-1}, p, q, n\right) : \frac{p+1}{nq-1} \in \mathbb{Z}\right\}$$
$$\cup \left\{\left(\frac{pq(pq+1)}{nq-1}, \frac{pq+1}{nq-1}, p, q, n\right) : \frac{pq+1}{nq-1} \in \mathbb{Z}\right\}$$

when $n > 1$.

Keywords: Diophantine equation, positive integer solution, Egyptian fraction

บทนำ

ในการแข่งขัน The William Lowell Putnam Mathematical Competition (Mathematical Association of America, 2019) ได้มีโจทย์ปัญหาหนึ่งที่น่าสนใจ กล่าวคือ จงหาผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{3}{2018} \tag{1}$$

เมื่อ a และ b เป็นจำนวนเต็มบวก และต่อมา Johnson (2022) ได้ศึกษาและหาผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ดังกล่าวในรูปทั่วไป กล่าวคือ

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{q+1}{pq} \tag{2}$$

เมื่อ a, b เป็นจำนวนเต็มบวก และ p, q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $(q+1)|(p-1)$

เมื่อไม่นานมานี้ Prugsapitak (2023, 2024) ได้ศึกษาและแสดงผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ที่มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{q-1}{pq} \tag{3}$$

เมื่อ a, b เป็นจำนวนเต็มบวก และ p, q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p > q$

ในงานวิจัยนี้จะใช้ความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีจำนวนเพื่อขยายผลงานวิจัยของ Johnson (2022) และ Prugsapitak (2023, 2024) โดยการศึกษาและค้นหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสองสมการไดโอแฟนไทน์ ต่อไปนี้

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq+1}{pq} \tag{4}$$

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{nq-1}{pq} \tag{5}$$

เมื่อ a,b,n เป็นจำนวนเต็มบวก และ p,q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p>nq$

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการหาผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการ (4) และ (5) นั้น จะใช้ความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีจำนวน โดยเริ่มจากการพิสูจน์บทตั้งต่อไปนี้

บทตั้ง 1 ให้ a,b เป็นจำนวนเต็มบวก และ q เป็นจำนวนเฉพาะ จะได้ว่าสมการไดโอแฟนไทน์

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{q} \tag{6}$$

มีผลเฉลยคือ $(a,b)\in\{(2q,2q),(q(q+1),q+1)\}$

พิสูจน์ จากสมการ (6) จะได้ว่า

$$(a+b)q=ab \tag{7}$$

และเนื่องจาก q เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้น $q|a$ หรือ $q|b$ โดยไม่เสียนัยสำคัญ สมมติว่า $q|a$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก a_1 ซึ่งทำให้ $a=qa_1$ และจากสมการ (7) จะได้ว่า

$$qa_1=(a_1-1)b \tag{8}$$

และเนื่องจาก q เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้นสามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณี 1 $\gcd(q,b)=q$ จะได้ว่า $q|b$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก b_1 ซึ่งทำให้ $b=qb_1$ และจากสมการ (8) จะได้ว่า $a_1=(a_1-1)b_1$ ดังนั้น $(a_1-1)|a_1$ และเนื่องจาก $\gcd(a_1,a_1-1)=1$ เพราะฉะนั้น $a_1-1=1$ และ $a_1=b_1$ จะได้ว่า $a_1=2$ และ $b_1=2$ เพราะฉะนั้น $a=2q$ และ $b=2q$ นั่นคือ $(a,b)=(2q,2q)$

กรณี 2 $\gcd(q,b)=1$ ดังนั้นเนื่องจากสมการ (8) และ $\gcd(a_1,a_1-1)=1$ จะได้ว่า $q=a_1-1$ และ $a_1=b$ ดังนั้น $a_1=q+1$ และ $b=q+1$ เพราะฉะนั้น $a=q(q+1)$ นั่นคือ $(a,b)=(q(q+1),q+1)$

ทฤษฎีบท 2 ให้ a,b,n เป็นจำนวนเต็มบวก และ p,q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p>nq$ จะได้ว่า สมการ (4) มีผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนี้

1) $(a,b,p,q,n)=(2q,2q,nq+1,q,n)$
2) $(a,b,p,q,n)=(q(q+1),q+1,nq+1,q,n)$
3) $(a,b,p,q,n)=(pq,p,p,q,1)$
4) $(a,b,p,q,n)=(p(p+q)/(nq+1),q(p+q)/(nq+1),p,q,n)$
   เมื่อ $(p+q)/(nq+1)$ เป็นจำนวนเต็ม
5) $(a,b,p,q,n)=(pq(p+1)/(nq+1),q(p+1)/(nq+1),p,q,n)$
   เมื่อ $(p+1)/(nq+1)$ เป็นจำนวนเต็ม
6) $(a,b,p,q,n)=(pq(pq+1)/(nq+1),(pq+1)/(nq+1),p,q,n)$
   เมื่อ $(pq+1)/(nq+1)$ เป็นจำนวนเต็ม

พิสูจน์ เนื่องจาก $p>nq$ ดังนั้น ถ้า $p=nq+1$ จากสมการ (4) และบทตั้ง 1 จะได้ว่า $(a,b,p,q,n)\in\{(2q,2q,nq+1,q,n),(q(q+1),q+1,nq+1,q,n)\}$

ต่อไปจะพิจารณา $p>nq+1$ และเนื่องจาก p เป็นจำนวนเฉพาะ เพราะฉะนั้น $\gcd(p,nq+1)=1$ และจากสมการ (4) จะได้ว่า

$$(a+b)pq=(nq+1)ab \tag{9}$$

เพราะฉะนั้น $p|a$ หรือ $p|b$ โดยไม่เสียนัยสำคัญ สมมติว่า $p|a$ ดังนั้น จะมีจำนวนเต็มบวก a_1 ซึ่งทำให้ $a=pa_1$และจากสมการ (9) จะได้ว่า

$$(pa_1+b)q=(nq+1)a_1b \tag{10}$$

และเนื่องจาก p เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้นสามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณี 1 $\gcd(p,b)=p$ จะได้ว่า $p|b$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก b_1 ซึ่งทำให้ $b=pb_1$ และจากสมการ (10) จะได้ว่า

$$(a_1+b_1)q=(nq+1)a_1b_1 \tag{11}$$

และจาก q เป็นจำนวนเฉพาะ และ $\gcd(q,nq+1)=1$ ดังนั้น $q|a_1$ หรือ $q|b_1$ โดยไม่เสียนัยสำคัญ สมมติว่า $q|a_1$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก a_2 ซึ่งทำให้ $a_1=qa_2$ และจากสมการ (11) จะได้ว่า

$$b_1(1-a_2)=qa_2(nb_1-1) \tag{12}$$

ถ้า $nb_1-1>0$ ดังนั้น $1-a_2>0$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก a_2 เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น $nb_1-1=0$ เพราะฉะนั้น $n=b_1=1$ และเนื่องจากสมการ (12) จะได้ว่า $a_2=1$ ดังนั้น $a_1=q$ เพราะฉะนั้น $a=pq$ และ $b=p$ นั่นคือ $(a,b,p,q,n)=(pq,p,p,q,1)$

กรณี 2 $\gcd(p,b)=1$ จากสมการ (10) จะได้ว่า

$$pa_1q=b((nq+1)a_1-q) \tag{13}$$

เนื่องจาก q เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้นสามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีย่อย 2.1 $\gcd(q,b)=q$ จะได้ว่า $q|b$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก b_1 ซึ่งทำให้ $b=qb_1$ และจาก $\gcd(p,b)=1$ ดังนั้น $\gcd(p,b_1)=1$ และจากสมการ (13) จะได้ว่า

$$pa_1=(nq+1)a_1b_1-qb_1 \tag{14}$$

ดังนั้น $a_1|qb_1$ และเนื่องจาก q เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้นสามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีย่อย 2.1.1 $\gcd(q,a_1)=1$ จาก $a_1|qb_1$ ดังนั้น $a_1|b_1$ จะมีจำนวนเต็มบวก b_2 ทำให้ $b_1=a_1b_2$ และจาก $\gcd(p,b_1)=1$ ดังนั้น $\gcd(p,b_2)=1$ และจากสมการ (14) จะได้ว่า $p=b_2\big((nq+1)a_1-q\big)$ และจาก p เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้น $p=(nq+1)a_1-q$ และ $b_2=1$ จะได้ว่า $a_1=(p+q)/(nq+1)$ และ $b_1=a_1$ เพราะฉะนั้น

$a = p(p+q)/(nq+1)$ และ $b = q(p+q)/(nq+1)$ นั่นคือ $(a,b,p,q,n) = (p(p+q)/(nq+1), q(p+q)/(nq+1), p, q, n)$ เมื่อ $(p+q)/(nq+1)$ เป็นจำนวนเต็ม

กรณีย่อย 2.1.2 $\gcd(q, a_1) = q$ ดังนั้น $q|a_1$ จะมีจำนวนเต็มบวก a_2 ซึ่งทำให้ $a_1 = qa_2$ และจากสมการ (14) ดังนั้น $pa_2 = ((nq+1)a_2 - 1)b_1$ และเนื่องจาก $\gcd(a_2, (nq+1)a_2 - 1) = \gcd(p, b_1) = 1$ ทำให้ $a_2 = b_1$ และ $p = (nq+1)a_2 - 1$ จะได้ว่า $a_2 = (p+1)/(nq+1)$ เพราะฉะนั้น $a_1 = q(p+1)/(nq+1)$ และ $b_1 = (p+1)/(nq+1)$ ดังนั้น $a = pq(p+1)/(nq+1)$ และ $b = q(p+1)/(nq+1)$ นั่นคือ $(a,b,p,q,n) = (pq(p+1)/(nq+1), q(p+1)/(nq+1), p, q, n)$ เมื่อ $(p+1)/(nq+1)$ เป็นจำนวนเต็ม

กรณีย่อย 2.2 $\gcd(q,b) = 1$ และเนื่องจาก $\gcd(q, nq+1) = 1$ และสมการ (13) จะได้ว่า $q|a_1$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก a_2 ซึ่งทำให้ $a_1 = qa_2$ และจากสมการ (13) จะได้ว่า

$$pqa_2 = b((nq+1)a_2 - 1) \tag{15}$$

เนื่องจาก $\gcd(p,b) = 1$ และ $\gcd(q,b) = 1$ เพราะฉะนั้น $\gcd(pq,b) = 1$ และเนื่องจาก $\gcd(a_2, (nq+1)a_2 - 1) = 1$ และสมการ (15) ได้ว่า $a_2 = b$ และ $pq = (nq+1)a_2 - 1$ ดังนั้น $a_2 = (pq+1)/(nq+1)$ ทำให้ $a_1 = q(pq+1)/(nq+1)$ เพราะฉะนั้น $a = pq(pq+1)/(nq+1)$ และ $b = (pq+1)/(nq+1)$ นั่นคือ

$$(a,b,p,q,n) = (pq(pq+1)/(nq+1), (pq+1)/(nq+1), p, q, n)$$

เมื่อ $(pq+1)/(nq+1)$ เป็นจำนวนเต็ม

ลำดับต่อไปจะหาผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการ (5) และเนื่องจาก Prugsapitak (2023, 2024) ได้พิสูจน์กรณีที่ $n = 1$ แล้ว ดังนั้นในที่นี้จะพิจารณากรณีที่ $n > 1$

ทฤษฎีบท 3 ให้ a, b, n เป็นจำนวนเต็มบวก และ p, q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $n > 1$ และ $p > nq$ จะได้ว่าสมการ (5) มีผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนี้

1) $(a,b,p,q,n) = (2p,p,p,2,2)$

2) $(a,b,p,q,n) = (p(p+q)/(nq-1), q(p+q)/(nq-1), p, q, n)$
เมื่อ $(p+q)/(nq-1)$ เป็นจำนวนเต็ม

3) $(a,b,p,q,n) = (pq(p+1)/(nq-1), q(p+1)/(nq-1), p, q, n)$
เมื่อ $(p+1)/(nq-1)$ เป็นจำนวนเต็ม

4) $(a,b,p,q,n) = (pq(pq+1)/(nq-1), (pq+1)/(nq-1), p, q, n)$
เมื่อ $(pq+1)/(nq-1)$ เป็นจำนวนเต็ม

พิสูจน์ จากสมการ (5) จะได้ว่า

$$(a+b)pq = (nq-1)ab \tag{16}$$

เนื่องจาก p เป็นจำนวนเฉพาะ และ $p > nq$ ดังนั้น $\gcd(p, nq-1) = 1$ เพราะฉะนั้นจากสมการ (16) จะได้ว่า $p|a$ หรือ $p|b$ โดยไม่เสียนัยสำคัญ สมมติว่า $p|a$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก a_1 ซึ่งทำให้ $a = pa_1$ และจากสมการ (16) จะได้ว่า

$$(pa_1 + b)q = (nq-1)a_1 b \tag{17}$$

และเนื่องจาก p เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้นสามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณี 1 $\gcd(p,b) = p$ จะได้ว่า $p|b$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก b_1 ซึ่งทำให้ $b = pb_1$ และจากสมการ (17) จะได้ว่า

$$(a_1 + b_1)q = (nq-1)a_1 b_1 \tag{18}$$

และจาก q เป็นจำนวนเฉพาะ และ $\gcd(q, nq-1) = 1$ ดังนั้น $q|a_1$ หรือ $q|b_1$โดยไม่เสียนัยสำคัญ สมมติว่า $q|a_1$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก a_2 ซึ่งทำให้ $a_1 = qa_2$ และจากสมการ (18) จะได้ว่า

$$b_1(1 + a_2) = qa_2(nb_1 - 1) \tag{19}$$

เนื่องจาก $\gcd(b_1, nb_1 - 1) = \gcd(a_2, 1 + a_2) = 1$ ดังนั้น $b_1 = a_2$ หรือ $b_1 = q$ หรือ $b_1 = qa_2$

กรณีย่อย 1.1 $b_1 = a_2$ และจากสมการ (19) จะได้ว่า

$$1 + a_2 = q(na_2 - 1) \tag{20}$$

เพราะฉะนั้น $1 + a_2 > na_2 - 1$ หรือ $2 > (n-1)a_2$ ดังนั้น $n = 2$ และ $a_2 = 1$ และจากสมการ (20) ได้ว่า $q = 2$ ดังนั้น $a_1 = 2$ และ $b_1 = 1$ เพราะฉะนั้น $a = 2p$ และ $b = p$ นั่นคือ $(a, b, p, q, n) = (2p, p, p, 2, 2)$

กรณีย่อย 1.2 $b_1 = q$ และจากสมการ (19) จะได้ว่า $1 + a_2 = a_2(nq - 1)$ และจาก $\gcd(a_2, 1 + a_2) = 1$ ดังนั้น $a_2 = 1$ ดังนั้น $nq = 3$ และจาก q เป็นจำนวนเฉพาะ เพราะฉะนั้น $n = 1$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $n > 1$

กรณีย่อย 1.3 $b_1 = qa_2$ และจากสมการ (19) จะได้ว่า $1 + a_2 = nqa_2 - 1$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $nq > 3$ และ $a_2 \geq 1$ ดังนั้น $nqa_2 - 1 > 3a_2 - 1 \geq 1 + a_2$

กรณี 2 $\gcd(p, b) = 1$ สามารถพิสูจน์ในทำนองเดียวกับกรณี 2 ของทฤษฎีบท 2 โดยเปลี่ยนจาก $nq + 1$ เป็น $nq - 1$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในทฤษฎีบท 2 และ 3 ได้แสดงผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสองสมการไดโอแฟนไทน์ (4) และ (5) ตามลำดับ และจะสังเกตได้ว่าผลเฉลยในทฤษฎีบท 2 ข้อ 4 – 6 และในทฤษฎีบท 3 ข้อ 2 – 4 มีความคล้ายกันตามลำดับ แต่จะแตกต่างกันเฉพาะตัวส่วนเท่านั้น โดยเปลี่ยนจาก $nq + 1$ เป็น $nq - 1$ นอกจากนี้จะเห็นว่าเศษส่วนในทฤษฎีบท 2 และ 3 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปผลรวมของเศษส่วนที่มีตัวเศษเป็นหนึ่ง (Unit fraction) โดยที่ตัวส่วนเป็นจำนวนเต็มบวกที่แตกต่างกัน ซึ่งเศษส่วนที่อยู่ในรูปแบบการเขียนดังกล่าวเรียกว่า เศษส่วนอียิปต์ (Egyptian fraction) เช่น จากทฤษฎีบท 2 สามารถเขียน $\frac{7}{39}$ ให้อยู่ในรูป $\frac{1}{78} + \frac{1}{6}$ และทฤษฎีบท 3 สามารถเขียน $\frac{5}{57}$ ให้อยู่ในรูป $\frac{1}{228} + \frac{1}{12}$ เป็นต้น ซึ่งเศษส่วนอียิปต์นี้มีประวัติศาสตร์ที่ยาวนานและได้รับความสนใจจากนักคณิตศาสตร์จำนวนมาก (Clemente & Fortuny, 2021)

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำให้ทราบผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสองสมการไดโอแฟนไทน์ (4) และ (5) ภายใต้เงื่อนไขที่ a, b, n เป็นจำนวนเต็มบวก และ p, q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p > nq$ โดยในการพิสูจน์ใช้ความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีจำนวน และสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาค้นคว้าต่อไป คือ กรณีที่ $p \leq nq$ และการหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ที่อยู่ในรูป $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{m}{pq}$ เมื่อ m เป็นจำนวนเต็มบวกใด ๆ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Clemente, F., & Fortuny, J. M. (2021). Egyptian fractions and representation registers in the construction of the fraction concept. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 17*(7), 1 – 17.

Johnson, J. W. (2022). A Diophantine equation with an elementary solution. *The College Mathematics Journal, 53*(5), 361 – 363.

Prugsapitak, S. (2023). The Egyptian fraction of the form $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{q-1}{pq}$. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, *18*(4), 595 – 597.

Prugsapitak, S. (2024). Corrigendum to the Egyptian fraction of the form $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{q-1}{pq}$. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, *19*(1), 237.

Mathematical Association of America. (2019). *The William Lowell Putnam Mathematical Competition.* Retrieved August 12, 2023 from https://www.maa.org/sites/default/files/pdf/Putnam/CompetitionArchive/2018PutnamProblems.pdf.

การเจริญเติบโตของยอดเปราะภูอ่างขาง (*CAULOKAEMPFERIA APPENDICULATA* K.LARSEN & TRIBOUN) พืชเฉพาะถิ่นของไทยในสภาพปลอดเชื้อ

IN VITRO SHOOT GROWTH OF PHOR PHU ANG KHANG (*CAULOKAEMPFERIA APPENDICULATA* K.LARSEN & TRIBOUN) ENDEMIC SPECIES IN THAILAND

บัณฑิตา เพ็ญสุริยะ[1], น้ำฝน ชาชัย[1], มนัสชนก เกตกลางดอน[1], พงศกร นิตย์มี[1], เรวัตร จินดาเจี่ย[1], สุรสิทธิ์ วงศ์สัจจานันท์[1], จรรยา มุ่งงาม[1], เตชิตา ปิ่นสันเทียะ[1], ปราโมทย์ ไตรบุญ[2] และ จักรกฤษณ์ ศรีแสง[1,*]

Banthita Pensuriya[1], Namfon Chachai[1], Manaschanok Katklangdon[1], Pongsakorn Nitmee[1], Rewat Chindajia[1], Surasit Wongchatchanan[1], Janya Mungngam[1], Tashita Pinsantiae[1], Pramote Triboun[2] and Jakkrit Sreesaeng[1,*]

[1] สถานีวิจัยลำตะคอง ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

[2] ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

[1] Lamtaklong Research Station, Expert Centre of Innovative Agriculture, Thailand Institute of Scientific and Technological Research

[2] National Biobank of Thailand, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA)

Received: 14 August 2023 Revised: 2 December 2023 Accepted: 13 December 2023

บทคัดย่อ

เปราะภูอ่างขางเป็นพืชหายากและพืชถิ่นเดียวของไทย มีดอกที่สวยงาม เป็นหนึ่งในสมาชิกของพืชสกุลเปราะภูที่มีความหลากหลายมากกว่า 30 ชนิด การขยายพันธุ์พืชสกุลเปราะภูในสภาพธรรมชาติส่วนมากจะขยายพันธุ์ด้วยการแตกหน่อ และกระจายพันธุ์ด้วยเมล็ด การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์พืชเพื่อการอนุรักษ์และใช้

* Corresponding author: จักรกฤษณ์ ศรีแสง
E-mail: Jakkritoneku@gmail.com

ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้อย่างรวดเร็ว การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์เปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อ โดยดำเนินการฟอกฆ่าเชื้อเมล็ดเปราะภูอ่างขางในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เพาะเมล็ดบนอาหารสังเคราะห์สูตร Murashige and Skoog (MS) ดัดแปลง ศึกษาการเจริญเติบโตของยอดเปราะภูอ่างขางที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม Benzyladenine (BA) ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มก./ล. เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.5-2.0 มก./ล. ชักนำยอดเปราะภูอ่างขางได้สูงสุด 5.05-6.00 ยอด/ต้น ความยาวรากและจำนวนรากมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยจากการทดลองนี้ พบว่า การขยายพันธุ์เปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อสามารถเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA 1.5-2.0 มก./ล.

คำสำคัญ: เปราะภูอ่างขาง, การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ, สกุลเปราะภู, สภาพปลอดเชื้อ

Abstract

Phor Phu Ang Khang is a rare and endemic species in Thailand. It is one of the members of the genus *Caulokaempferia* with more than 30 species. The most propagation of *Caulokaempferia* sp. by divided rhizome and seeds distribution in natural conditions. Plant tissue culture is another method that can quickly increase the amount of plant species for conservation and commercial use. This experiment aims to study the *in vitro* growth and propagation of Phor Phu Ang Khang (*Caulokaempferia appendiculata* K.Larsen & Triboun). Phor Phu Ang Khang seeds were sterilized with sodium hypochlorite solution at concentration 5 and 10 percent, respectively. Seeds were germinated on modified Murashige and Skoog (MS) medium. The study of *in vitro* shoots of Phor Phu Ang Khang was cultured on MS medium supplemented with various concentration of BA 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mg/L. The results revealed that MS medium supplemented with 1.5-2.0 mg/L BA induced the highest number of

shoots (5.05-6.00 shoots/explant). The growth trend of root number and root length were reduced after culture on MS medium with high BA concentration. In this experiment, *in vitro* propagation of Phor Phu Ang Khang can be cultured on MS medium supplemented with 1.5-2.0 mg/L BA.

Keywords: Phor Phu Ang Khang, Tissue Culture, Genus *Caulokaempferia*, *In vitro*

บทนำ

พืชสกุลเปราะภู (*Caulokaempferia*) ทั่วโลกมีจำนวน 30 ชนิด เป็นพืชล้มลุกอายุหลายปี กระจายพันธุ์ในพื้นที่เขตร้อนชื้นของประเทศอินเดีย จีนตอนใต้ เมียนมา เวียดนาม ลาว และประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นพื้นที่ศูนย์กลางความหลากหลายของพืชสกุลเปราะภู (Chaiyoot, 2007; Phokham et al., 2015; Wongsuwan et al., 2020; ดวงกมล ทองอร่าม และคณะ, 2548) โดยพืชสกุลเปราะภูที่พบกระจายพันธุ์ในประเทศไทย ได้แก่ *C. pubescens* Picheans. & Phokham, *C. sirirugsae* Ngamr, *C. amplexicaulis* Suksathan, *C. pedemontana* Triboun & K.Larsen, *C. larsenii* Suksathan & Triboun และ *C. appendiculata* K.Larsen & Triboun เป็นต้น (Phokham et al., 2015; Ngamriabsakul, 2008; Larsen et al., 2004; Suksathan and Triboun, 2004; Larsen, 2002) มีรายงานการใช้ประโยชน์พืชสกุลเปราะภูในประเทศอินเดีย โดยชนเผ่า Chakma ในอินเดียและบังคลาเทศใช้ใบ *C. linearis* (Wall.) K.Larsen เป็นพืชสมุนไพรเพื่อใช้ในการรักษาอาการวิงเวียนศรีษะ (Rai & Lalramnghinglova, 2010) ในขณะที่ประเทศไทยมีรายงานการใช้ประโยชน์ *C. phutokensis* Picheans. เป็นสมุนไพรในการรักษาอาการระยะแรกของภาวะต่อมลูกหมากโต (Picheansoonthon & Koonterm, 2008)

การเจริญเติบโตในสภาพธรรมชาติของพืชวงศ์ขิงส่วนใหญ่ รวมถึงพืชสกุลเปราะภูมีความสัมพันธ์กับปริมาณ ความต่อเนื่อง และช่วงเวลาการตกของฝน โดยส่วนมากพืชสกุลเปราะภูจะแบ่งการเจริญเติบโตออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มที่เจริญเติบโตบนพื้นดิน และกลุ่มที่เจริญเติบโตเกาะบนโขดหินที่มีความชื้นสูง Wang et al. (2004) รายงานว่าการเจริญเติบโตในสภาพธรรมชาติของ *C. coenobialis* (Hance) K.Larsen จะเติบโตบน

พื้นผิวของก้อนหินในพื้นที่ป่าดิบชื้น ซึ่งเมล็ดที่เกิดจากการผสมตัวเอง (self-pollinated) ของ *C. coenobialis* (Hance) K.Larsen จะพัฒนาและงอกเป็นต้นกล้าและสร้างเหง้าขนาดเล็กก่อนที่จะถึงฤดูแล้ง และเหง้าขนาดเล็กจะพัฒนาเป็นต้นอีกครั้งในฤดูฝน พืชสกุลเปราะภูที่เจริญเติบโตในพื้นที่ประเทศไทยส่วนมากเป็นพืชที่มีสถานะภาพค่อนข้างหายากและมีความเฉพาะกับสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ของไทย ตัวอย่างเช่น *C. phutokensis* Picheans., *C larsenii* Suksathan & Triboun และ *C. appendiculata* K.Larsen & Triboun ซึ่งเป็นพืชเฉพาะถิ่นของไทย (POWO, 2023) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะเป็นพื้นที่ศูนย์กลางความหลากหลายของพืชสกุลเปราะภู แต่พืชสกุลเปราะภูหลายชนิดมีสถานภาพที่ค่อนข้างเสี่ยงต่อการถูกทำลายและสูญหายจากพื้นที่ เนื่องจากลักษณะของพื้นที่กระจายพันธุ์ที่ค่อนข้างเฉพาะ ดังนั้น การพัฒนาแนวทางในการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ความหลากหลายทางชีวภาพพืชสกุลเปราะภูอย่างยั่งยืนอาจจะช่วยทำให้สามารถรักษาเชื้อพันธุกรรมพืชสกุลเปราะภูเพื่อการใช้ประโยชน์ในอนาคตได้

การอนุรักษ์นอกถิ่นที่อยู่ (*ex situ*–conservation) ทั้งในรูปแบบแปลงรวบรวมพันธุ์สวนพฤกษศาสตร์ และการอนุรักษ์ในสภาพปลอดเชื้อ เป็นอีกหนึ่งแนวทางในการอนุรักษ์พืชวงศ์ขิงได้ (สุรพล แสนสุข, 2554) โดยที่การอนุรักษ์และเพิ่มปริมาณเชื้อพันธุกรรมพืชในสภาพปลอดเชื้อ (*in vitro* conservation) ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์พืชได้ปริมาณมากในระยะเวลาสั้น และสามารถเก็บรักษาเชื้อพันธุกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชวงศ์ขิงส่วนใหญ่จะใช้อาหารสังเคราะห์สูตร Murashige & Skoog 1962 (MS) ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มไซโทไคนิน ได้แก่ BA, TDZ และ BAP เป็นต้น โดยระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชวงศ์ขิง ตัวอย่างเช่น การเพาะเลี้ยงเปราะราศี (*Kaempferia larsenii* Sirirugsa) ในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 1 มก./ล. สามารถชักนำให้เกิดยอดเฉลี่ยมากที่สุด (6.6 ยอด) ขณะที่อาหารที่เหมาะสมต่อการชักนำรากเปราะราศรี คือ อาหารสูตร MS ที่เติม IAA ความเข้มข้น 0.5 มก./ล. (จิราภรณ์ ผุดผ่อง และคณะ, 2558) ขณะที่อาหารสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.1-2 มก./ล. เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงพืชสกุลหงส์เหิน (*Globba schomburgkii* Hook.f.) ในสภาพปลอดเชื้อ (Saensouk et al., 2018) การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในสกุลเปราะภู พบว่า มีรายงานการเพาะเลี้ยง จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ เปราะภู (*C. thailandica* K.Larsen) และเปราะภูภูหลวง (*C. phuluangensis* Picheans.

& Mokkamul) ซึ่งพบว่า อาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 5 มก./ล. และอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5-1.5 มก./ล. ตามลำดับ โดยสามารถชักนำยอดเปราะภู จำนวน 15 ยอด/ชิ้นส่วน และสามารถชักนำยอดเปราะภูภูหลวง จำนวน 2.92-3.85 ยอด/ชิ้นส่วน (สุมนทิพย์ บุนนาค และคณะ, 2549; บัณฑิตา เพ็ญสุริยะ และคณะ, 2565) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการเพาะเลี้ยงเปราะภูอ่างขาง (*C. appendiculata* K.Larsen & Triboun) พืชหายากและพืชเฉพาะถิ่นของไทยในสภาพปลอดเชื้อ ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการขยายพันธุ์เปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อ โดยศึกษาระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มไซโทไคนินชนิด BA เพื่อเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์และเพื่อพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมต่อการอนุรักษ์เปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

เก็บตัวอย่างเมล็ดเปราะภูอ่างขางจากพื้นที่ดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ คัดแยกเมล็ดที่สมบูรณ์ ล้างเยื่อหุ้มเมล็ดด้วยน้ำสะอาด แช่เมล็ดในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 2 นาที ฟอกฆ่าเชื้อเมล็ดในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite) จำนวน 2 ครั้ง ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เติม Tween 20 จำนวน 3 หยด เขย่านาน 10 และ 15 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้นล้างเมล็ดด้วยน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าเชื้อ จำนวน 3 ครั้งๆ ละ 5 นาที นำเมล็ดที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อเพาะลงบนอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS (Murashige & Skoog, 1962) ดัดแปลง เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากนั้น นำต้นกล้าที่งอกไปใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตในสภาพปลอดเชื้อ

การศึกษาการเจริญเติบโตของยอดเปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อ เพาะเลี้ยงยอดเปราะภูอ่างขาง ขนาด 1 ซม. บนอาหารสูตร MS ดัดแปลง ที่เติม BA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มก./ล. จำนวน 5 สูตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Designed; CRD) จำนวน 10 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ยอด เพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ย 26±2 องศาเซลเซียส ให้แสง 14 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เก็บข้อมูลจำนวนยอด ความยาวยอด จำนวนราก และความยาวราก ที่อายุ 4 และ 6 สัปดาห์หลังย้ายลงอาหารเพาะเลี้ยง วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s Multiple Range Test

(DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ IBM SPSS 22.0 คำนวณอัตราการเจริญเติบโตจากสูตร Growth rate (GR) = $(G_6-G_4)/G_4 \times 100$ โดยที่ G_6 คือ การเจริญเติบโตที่อายุ 6 สัปดาห์หลังเพาะเลี้ยง และ G_4 คือ การเจริญเติบโตที่อายุ 4 สัปดาห์หลังเพาะเลี้ยง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การฟอกเมล็ดเปราะภูอ่างขางด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์สามารถกำจัดเชื้อพื้นผิวเมล็ดได้และเมล็ดสามารถงอกได้ดีบนอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS เมื่อนำชิ้นส่วนยอดของต้นกล้าเปราะภูอ่างขางที่ได้ไปขยายเพิ่มปริมาณต้นบนอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชในกลุ่มไซโทไคนิน พบว่า การเจริญเติบโตของชิ้นส่วนยอดเปราะภูอ่างขางที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA แต่ละความเข้มข้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกลักษณะ โดยอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0-1.5 มก./ล. สามารถชักนำให้ความยาวยอดของเปราะภูอ่างขางยาวมากที่สุด (2.21 และ 2.40 ซม. ตามลำดับ) (Table 1) การชักนำชิ้นส่วนยอดเปราะภูอ่างขางเพื่อเพิ่มปริมาณยอด พบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.5 และ 2.0 มก./ล. สามารถเพิ่มปริมาณยอดเปราะภูอ่างขางได้มากที่สุด (5.05 และ 6.00 ยอด/ต้น ตามลำดับ) ขณะที่ อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มก./ล. สามารถชักนำให้เกิดรากมากที่สุด (1.90 ราก/ต้น) และมีความยาวรากมากที่สุด (0.98 ซม.) จากการทดลอง พบว่า การขยายพันธุ์เปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อมีความจำเป็นต้องมีการทดลองสูตรอาหารในการชักนำให้เกิดราก เนื่องจากเปราะภูอ่างขางเกิดรากได้น้อยเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชในกลุ่มไซโทไคนิน (Figure 1) นอกจากนี้ การใช้ BA ในความเข้มข้นมากขึ้นส่งผลต่อจำนวนรากของต้นเปราะภูอ่างขางโดยมีแนวโน้มจำนวนรากน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ BA ในขณะที่ อัตราการเจริญเติบโต (growth rate) ของยอดเปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อที่อายุ 6 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตที่อายุ 4 สัปดาห์หลังเพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5-1.5 มก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตในลักษณะความสูงต้นได้ดี แต่ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 มก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงต้นน้อยกว่า ในขณะที่ ลักษณะจำนวนยอด พบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตในลักษณะจำนวนยอดได้ดีที่สุด ลักษณะ

จำนวนราก พบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด และอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.5 มก./ล. มีอัตราการเจริญเติบโตในลักษณะความยาวรากดีที่สุด (Figure 2) ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ในช่วงอายุ 4-6 สัปดาห์ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อ อาหารสูตร MS ที่เติม BA สามารถกระตุ้นการเกิดยอดและรากเปราะภูอ่างขางได้ดี ทั้งนี้ เนื่องจาก BA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชในกลุ่มไซโทไคนิน ที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์และพัฒนาของตายอดพืช เมื่อใช้ในปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสม สามารถกระตุ้นการเกิดยอดในภาพปลอดเชื้อของชิ้นส่วนพืชได้

จากข้อมูลการเพาะเลี้ยงพืชสกุลเปราะภู ได้แก่ เปราะภู และเปราะภูภูหลวง พบว่า มีแนวโน้มการเจริญเติบโตในสภาพปลอดเชื้อได้ดี และสามารถเพิ่มปริมาณโดยใช้อาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชในกลุ่มไซโทไคนิน ซึ่งจากการทดลองของ สุมนทิพย์ บุนนาค และคณะ (2549) พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 5 มก./ล. ของ BA สามารถชักนำให้เกิดยอดได้สูงถึง 15 ยอด/ชิ้นส่วน อย่างไรก็ตาม บัณฑิตา เพ็ญสุริยะ และคณะ (2565) พบว่า การชักนำยอดของเปราะภูภูหลวงในสภาพปลอดเชื้อโดยเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ดัดแปลง ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5-1.5 มก./ล. สามารถชักนำได้เพียง 2.92-3.85 ยอด/ชิ้นส่วน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ ที่พบว่า อาหารสูตร MS ดัดแปลง ที่เติม BA สามารถชักนำยอดของเปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อสามารถชักนำยอดได้สูงสุดเพียง 5-6 ยอด/ชิ้นส่วนเท่านั้น ในขณะที่ การเกิดรากของเปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า มีการเกิดรากน้อยมาก เมื่อเทียบกับการเพาะเลี้ยงเปราะภูภูหลวงและเปราะภู ที่สามารถชักนำรากได้ดีเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA เพียงอย่างเดียว (สุมนทิพย์ บุนนาค และคณะ, 2549; บัณฑิตา เพ็ญสุริยะ และคณะ, 2565) ซึ่งจากผลของการทดลองนี้ พบว่า เปราะภูอ่างขางมีความจำเป็นที่จะต้องทดลองสูตรอาหารเพื่อชักนำให้ต้นกล้าในสภาพปลอดเชื้อเกิดรากต่อไป

เปราะภูอ่างขางเป็นพืชหายากและพืชถิ่นเดียวของไทย ที่มีการเจริญเติบโตในพื้นที่ภูเขาสูง และมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำและมีความชื้นที่สูง มีการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างเฉพาะกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่อาศัย (Suksathan & Triboun, 2004; POWO, 2023) ถึงแม้ว่าจะมีรายงานว่าพืชสกุลเปราะภูบางชนิดมีการผสมตัวเอง (self-pollinated) ไม่ต้องอาศัยแมลงผสมเกสร แต่เมล็ดของพืชสกุลเปราะภูจำเป็นต้องงอก เจริญเติบโต และสะสมอาหาร

สร้างเหง้าขนาดเล็กก่อนที่จะถึงฤดูแล้ง และรอฤดูฝนในการเจริญเติบโตอีกครั้ง (Wang et al., 2004) ทำให้มีความเสี่ยงสูงที่จะไม่สามารถดำรงประชากรและเจริญเติบโตได้ในฤดูกาลถัดไป เมื่อได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ดังนั้น เปราะภูอ่างขางและพืชสกุลเปราะภูจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเร่งหาแนวทางในการอนุรักษ์ในถิ่นที่อยู่ (*in vitro* conservation) ร่วมกับการพัฒนากระบวนการที่เหมาะสมต่อการอนุรักษ์นอกถิ่นที่อยู่ (*ex situ* conservation) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการอนุรักษ์เชื้อพันธุกรรมพืชสกุลเปราะภูชนิดอื่นๆ ต่อไป

Table 1 The *in vitro* shoot and root formation of Phor Phu Ang Khang (*C. appendiculata* K.Larsen & Triboun) on MS medium with BA different concentrations after cultured for 6 weeks.

treatments	shoot height (cm.)	shoot number	root number	root length (cm.)
MS free hormones	1.31^{d}	1.80^{d}	1.05^{b}	0.37^{b}
MS + 0.5 mg/L BA	1.55^{cd}	3.35^{c}	1.00^{b}	0.58^{b}
MS + 1.0 mg/L BA	2.21^{ab}	4.25^{bc}	1.90^{a}	0.98^{a}
MS + 1.5 mg/L BA	2.40^{a}	5.05^{ab}	0.50^{b}	0.36^{b}
MS + 2.0 mg/L BA	1.83^{bc}	6.00^{a}	0.45^{b}	0.24^{b}
F-test	*	*	*	*
C.V. (%)	60.01	66.31	23.90	72.43

* = significance at $p<0.05$

Values are mean, different letters within the same column indicate significantly differences analyzed by DMRT at $p< 0.05$

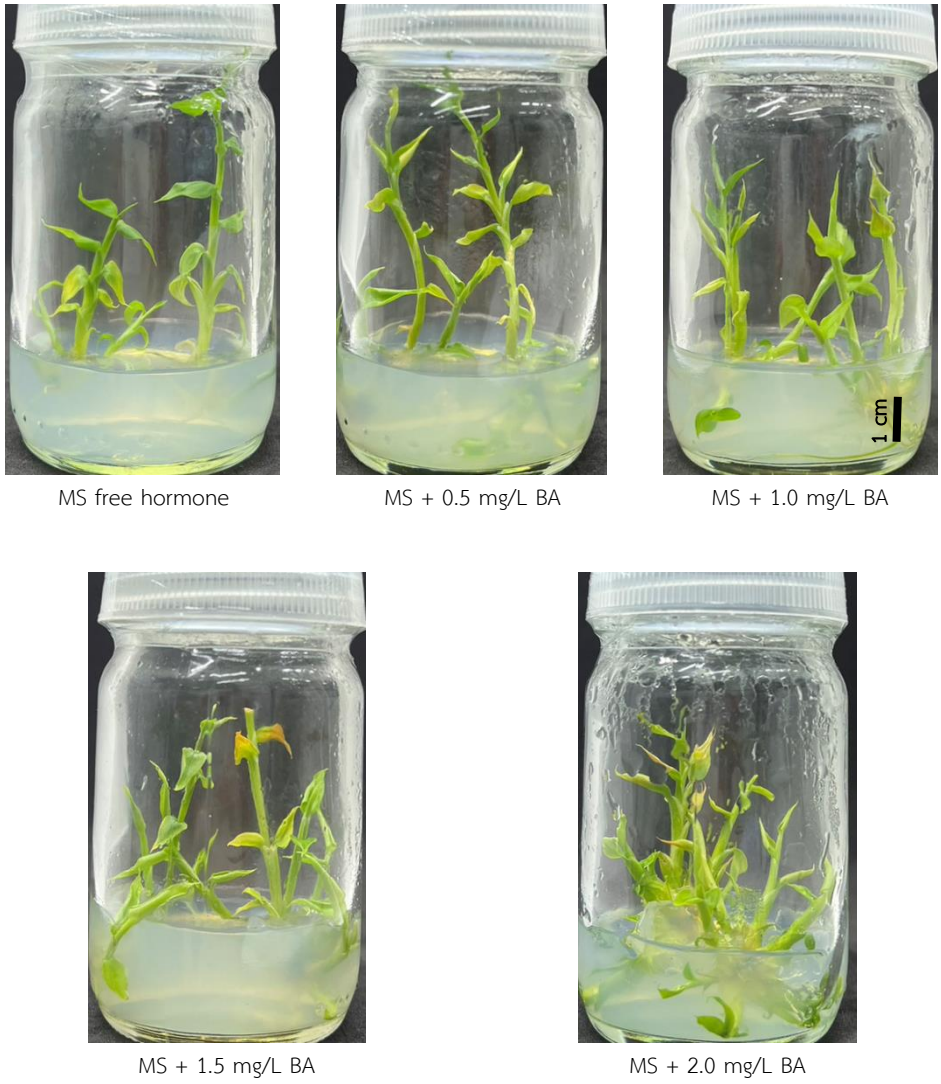


Figure 1 *In vitro* shoot growth of Phor Phu Ang Khang (*C. appendiculata* K.Larsen & Triboun) after cultured on MS medium with BA diffe rent concentrations after cultured for 6 weeks.

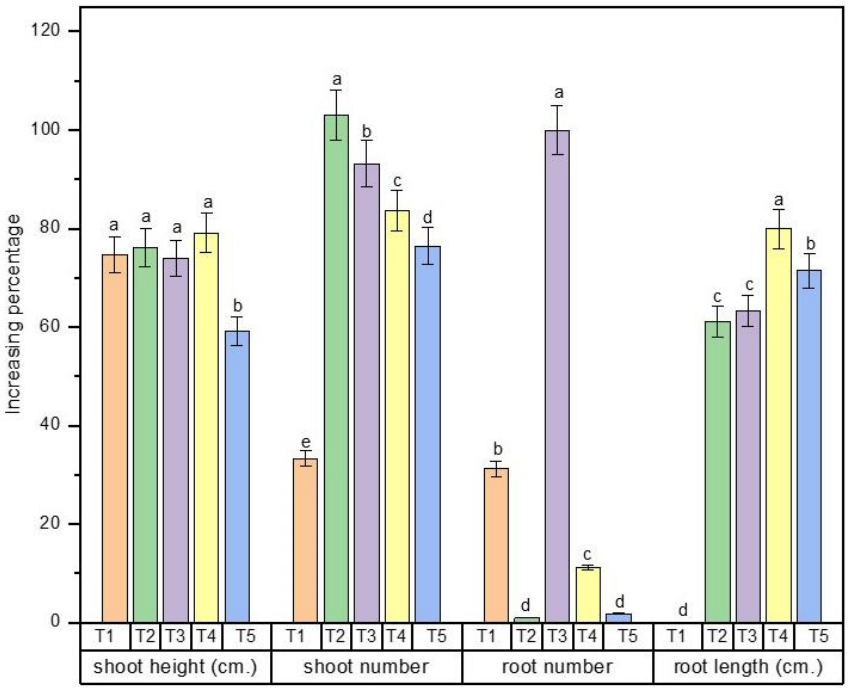


Figure 2 *In vitro* growth rate of Phor Phu Ang Khang (*C. appendiculata* K. Larsen & Triboun) after cultured on MS medium with BA different concentrations after cultured for 6 weeks. (T1 = MS free hormone, T2 = MS + 0.5 mg/L BA, T3 = MS + 1.0 mg/L BA, T4 = MS + 1.5 mg/L BA and T5 = MS + 2.0 mg/L BA)

สรุปผลการวิจัย

การอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์เปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อสามารถเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์โดยเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชในกลุ่มไซโทไคนิน ซึ่งหากใช้เกณฑ์ต้นทุนในการพิจารณาเลือกสูตรอาหารในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถเลือกอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.5-2.0 มก./ล. เพื่อใช้ในการขยายพันธุ์เปราะภูอ่างขางในสภาพปลอดเชื้อ ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณยอดได้ดีและมีการเจริญเติบโตของต้นพันธุ์ที่ดีซึ่งสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนการอนุบาลในสภาพโรงเรือนและเพื่อการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์เชื้อพันธุกรรมเปราะภูอ่างขางต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี ตลอดจนโรงเรือนที่ใช้ในการทดลองและห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื่อเยื่อพืช และขอขอบคุณนักวิจัยและผู้ช่วยวิจัยสถานีวิจัยลำตะคอง ที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

จิราภรณ์ ผุดผ่อง, สุรพล แสนสุข และ ปิยะพร แสนสุข. (2558). การขยายพันธุ์เปราะราศี (*Kaempferia larsenii* Sirirugsa) ในหลอดทดลองเพื่อการอนุรักษ์พืชหายากในประเทศไทย. *วารสารวิจัย มข, 43*(4), 673–687.

สุรพล แสนสุข. (2554). พืชถิ่นเดียวและพืชหายากวงศ์ขิง-ข่าในประเทศไทย. *วารสารวิจัย มข, 16*(3), 306–330.

สุมนทิพย์ บุนนาค, ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์, ประวีณา มณีรัตนรุ่งโรจน์, ดวงกมล ตั้งพงษ์ และ จิรภัทร จันทะพงษ์. (2549). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเปราะภู (*Caulokaempferia thailandica* Larsen). *วารสารวิจัย มข, 11*(2), 97–102.

ดวงกมล ทองอร่าม, วุฒิพงศ์ มหาคำ และ คทาวุธ นามดี. (2548). การจำแนกพืชสกุล *Caulokaempferia* K.Larsen (พืชวงศ์ขิง) โดยการวิเคราะห์สายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากข้อมูลทางชีววิทยาระดับโมเลกุล. *วารสารวิจัย มข, 10*(1), 5–12.

บัณฑิตา เพ็ญสุริยะ, น้ำฝน ชาชัย, มนัสชนก เกตกลางดอน, พงศกร นิตย์มี, พงษ์ศักดิ์ แก้วศรี, ภัทรา ประทับกอง, ปราโมทย์ ไตรบุญ และ จักรกฤษณ์ ศรีแสง. (2565). *การเจริญเติบโตในสภาพปลอดเชื้อของยอดเปราะภูภูหลวง (Caulokaempferia phuluangensis Picheans. & Mokkamul) พืชถิ่นเดียวของไทย*. น. 43–46. ใน: งานประชุมวิชาการนวัตกรรมการเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ ครั้งที่ 1. 18-19 สิงหาคม 2565. คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Chaiyoot, A. (2007). *Morphology and molecular study of the genus Caulokaempferia in Thailand and Laos*. (Master Thesis, Khon Kaen University).

Larsen, K. (2002). Three new species of *Caulokaempferia* (Zingiberaceae) from Thailand with a discussion of the generic diversity. *Nordic Journal of Botany, 22*(4), 409–417.

Larsen, K., Suksathan, P., & Triboun, P. (2004). Further studies in the genus *Caulokaempferia* (Zingiberaceae) in Thailand with the description of two new species. *Nordic Journal of Botany, 23*(4), 401–406.

Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum, 15*(3), 473–497.

Ngamriabsakul, C. (2008). *Caulokaempferia sirirugsae* sp. nov. (Zingiberaceae) from Southern Thailand. *Nordic Journal of Botany, 26*, 325–328.

Phokham, B., Intharapichai, K., Wongsuwan, P., & Picheansoonthon, C. (2015). *Caulokaempferia pubescens* (Zingiberaceae) - A new species from Northern Thailand. *Taiwania, 60*(2), 77–80.

Picheansoonthon, C., & Koonterm, S. (2008). Three new species of the yellow-flowered *Caulokaempferia* (Zingiberaceae) from Northeastern Thailand. *Taiwania, 53*(3), 248–257.

POWO. (2023). *Caulokaempferia larsenii Suksathan & Triboun*. Retrieved February 18, 2023 from https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:60431190-2.

Rai, P. K., & Lalramnghinglova, H. (2010). Lesser known ethno medicinal plants of Mizoram, North East India: An Indo-Burma hotspot region. *Journal of Medicinal Plants Research, 4*(13), 1301–1307.

Saensouk, P., Saensouk, S., & Pimmuen, P. (2018). *In vitro* propagation of *Globba schomburgkii* Hook. f. via bulbil explants. *Walailak Journal of Science and Technology, 15*(10), 701–710.

Suksathan, P., & Triboun, P. (2004). A new species of *Caulokaempferia* (Zingiberaceae) from Thailand. *Edinburgh Journal of Botany, 60*(3), 513–516.

Wang, Y., Zhang, D., Renner, S. S., & Chen, Z. (2004). A new self-pollination mechanism. *Nature,* 431, 39–40.

Wongsuwan, P., Phokham, B., Yupparacha, P., & Picheansoonthon, C. (2020). A new *Caulokaempferia* (Zingiberaceae) from Northeast Thailand. *Journal of Japanese Botany, 95*(6), 321–326.

การวิเคราะห์โครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโทรเมทรีและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพลที่สกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์

GC-MS ANALYSIS AND CHEMICAL COMPOSITION OF *ZINGIBER CASSUMUNAR* ROXB. OIL OBTAINED USING ULTRASONIC EXTRACTION

เอกชัย จงเสรีเจริญ[1], ชิษณุพงษ์ อนุกานนท์[2], โยธิน กัลยาเลิศ[1] และ วิชัย กองศรี[1, *]
Ekachai Chongsereecharoen[1], Shisanupong Anukanon[2], Yotin Kallayalert[1] and Wichai Kongsri[1, *]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์
[1] Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage
[2] สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
[2] School of medicine, Mae Fah Luang University

Received: 6 November 2023 Revised: 11 December 2023 Accepted: 22 December 2023

บทคัดย่อ

ไพลเป็นพืชสมุนไพรที่ได้รับการบรรจุอยู่ในบัญชียาหลักแห่งชาติ ไพลมีฤทธิ์ในด้านการลดการอักเสบและลดอาการปวด เป็นสมุนไพรที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้ทำการสกัดน้ำมันไพลด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกส์ช่วย ตัวแปรต่างๆ ที่ถูกปรับในการเตรียมน้ำมันไพลได้แก่ อุณหภูมิ ความถี่และเวลาในการสะกัด วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโทรเมทรี (GC-MS) ถูกใช้ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพล พบองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยไพลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้แก่ α-Pinene, Sabinene, α-Terpinene, γ-Terpinene และ Terpinen-4-ol การศึกษาผลความถี่ในการสกัด (28 และ 40 kHz) พบว่าปริมาณสารเคมีที่สกัดมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ผลของอุณหภูมิพบที่อุณหภูมิห้องว่ามีแนวโน้มได้ส่วนประกอบน้ำมันหอมระเหยของไพลในปริมาณที่สูงกว่า แต่พบว่า α-terpinene หายไป ส่วนผลของเวลาในการสกัดพบว่าใช้เวลาเพียง 10 นาทีก็เพียงพอที่จะได้ส่วนประกอบที่จำเป็น จากการ

* Corresponding author: วิชัย กองศรี
E-mail: wichai@vru.ac.th

ทดลองพบว่าสภาวะการสกัดที่ดีที่สุดอยู่ที่ 40 kHz โดยไม่ให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที ได้รับส่วนประกอบที่จำเป็นสูงสุด อย่างไรก็ตาม ไม่พบสาร α-terpinene

คำสำคัญ: น้ำมันไพล, การสกัดด้วยการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์, องค์ประกอบทางเคมี, โครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโทรเมทรี

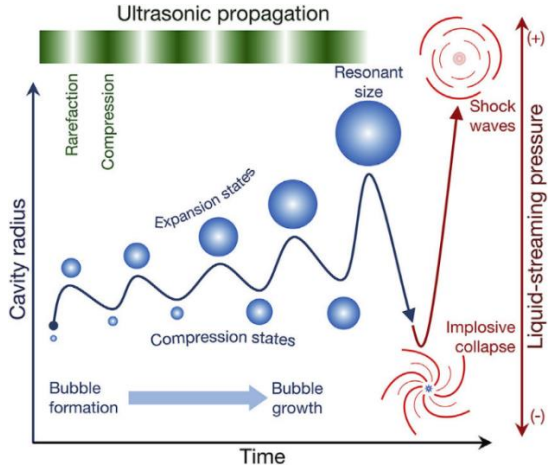
Abstract

Zingiber cassumunar Roxb. (Plai) is a medicinal herb which has been officially listed on the National List of Essential Medicines. Plai has the effect of reducing inflammation and relieving pain, so the herb has been receiving a great deal of attention. This research examined the utilization of ultrasonic-assisted extraction of Plai oil. The variables that were adjusted in the preparation of Plai oil were temperature, frequency, and time of extraction. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was employed for studying the chemical composition of Plai oil. Important chemical components of Plai essential oil according to industrial product standards such as α-Pinene, Sabinene, α-Terpinene, γ-Terpinene and Terpinen-4-ol. The study on extraction frequencies effect (28 and 40 kHz) revealed that the quantity of extracted chemicals had a tendency to remain unchanged. At room temperature it was showed that there was a tendency to obtain higher amounts of the essential oil components, but α-terpinene was not found. As for the results of extraction time, it was found that using only 10 minutes was sufficient to obtain essential components. From the experiment, the best extraction conditions were found at 40 kHz without heating for duration of 30 minutes. The highest essential components were obtained, however, no α-terpinene was found.

Keywords: *Zingiber cassumunar* Roxb., ultrasonic extraction, chemical composition, GC-MS

บทนำ

ไพล หรือปูลอย ปูเลย มิ้นสะล่าง ว่านไฟ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zingiber montanum* (Koenig) Link ex Dietr. หรือ *Zingiber cassumunar* Roxb. วงศ์ Zingiberaceae เป็นไม้ล้มลุก มีเหง้าใต้ดิน ใบเดี่ยวรูปหอกเรียวยาวเรียงสลับ ออกระนาบเดียว ผิวและขอบเรียบ ผิวใบเรียบ ขอบใบเรียบ ไม่มีก้านใบ มีขนนุ่มที่เส้นกลางใบด้านท้องใบกาบใบหุ้มลำต้นสูงประมาณ 2-4 ฟุต สีเขียวเข้ม โคนกาบสีแดง เนื้อในเหง้าสีเหลืองอ่อนกลิ่นหอมฉุน ดอกช่อทรงพุ่มกลมเรียวยาวรีตั้งตรง น้ำตาลเข้มแดงขอบเขียว กลีบดอกทยอยบานออกมาบาง ๆ สีขาวหรือสีเหลือง ผลเป็นผลแห้ง รูปทรงกลม (เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ, 2549) ผลมีสารประกอบหลายชนิดที่สามารถลดการอักเสบได้ มีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและต้านอนุมูลอิสระ (Jeenapongsa et al., 2003; Chienthavorn et al., 2011) ไพลเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนดังนี้ ใบมีสรรพคุณแก้ครั่นเนื้อครั่นตัว แก้ปวดเมื่อยสำหรับดอก แก้ช้ำใน ช่วยกระจายเลือดที่เป็นลิ่มเป็นก้อน ทำลายเลือดเสีย ขับระดู ส่วนต้นแก้อุจจาระพิการ แก้ธาตุพิการ เหง้า แก้ท้องอืด ท้องขึ้น ขับลม แก้โรคบิด แก้หืด ตำพอกแก้ฟกช้ำและดูดพิษแผลอักเสบได้ดี สกัดผสมทำยาหม่องแก้อาการเคล็ด ขัดยอก รักษาอาการไตอักเสบเรื้อรัง เป็นยาชาเฉพาะที่ จึงช่วยลดอาการปวด จากการศึกษาน้ำมันไพลทางด้านลดการอักเสบ พบว่าเฉพาะน้ำมันสกัดดิบเท่านั้นที่ให้ผลดี (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2542)



รูปที่ 1 การเกิดโพรงอากาศอคูสติกในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตราซาวน์

ที่มา: Bui et al. (2018)

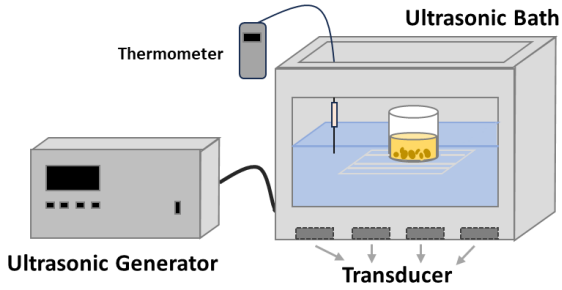
น้ำมันไพลเตรียมได้จากวิธีการกลั่นและการทอด น้ำมันไพลที่ได้จากการกลั่นเป็นน้ำมันหอมระเหย ซึ่งเป็นของเหลวที่ไม่มีขั้ว (hydrophobic) ระเหยได้ น้ำมันไพลที่ได้จากการทอดด้วยน้ำมันพืช เป็นวิธีของคนไทยโบราณที่ใช้เตรียมน้ำมันไพลเพื่อใช้ในครัวเรือน เป็นน้ำมันถูนวด แก้ปวดกล้ามเนื้อ น้ำมันไพลสูตรนี้เตรียมได้จากการนำไพลสดมาทอดกับน้ำมันพืชชนิดอิ่มตัว ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว หรือน้ำมันปาล์ม น้ำมันพืชที่ใช้ในการทอดเป็นน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีขั้วน้อย เป็นตัวทำละลายที่ดีในการสกัดสารที่มีขั้วน้อยด้วย ซึ่งในไพลนอกจากประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยแล้วยังประกอบสารกลุ่ม arylbutanoids, curcuminoids, และ cyclohexene derivatives เป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าสารในน้ำมันหอมระเหย และเป็นสารที่ไม่ระเหย (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์, 2555) วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโทรเมทรี (GC-MS) สามารถใช้ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยไพลได้ โดย Sukatta และคณะได้ทำการสกัดน้ำมันไพลด้วยเฮกเซน จากผล GC-MS พบองค์ประกอบหลักทางเคมี ได้แก่ sabinene, γ-terpinene, terpinen-4-ol และ (E)-1-(3,4-dimethoxyphenyl) butadiene (Sukatta et al., 2009)

มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการสกัดสมุนไพร หนึ่งในวิธีที่น่าสนใจคือ การใช้คลื่นเสียงความถี่สูงช่วยในการสกัด (Ultrasound- assisted extraction) คลื่นอัลตราซาวน์ทำให้เกิดโพรงอากาศอคูสติก (Acoustic cavitation) ในของเหลวที่เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากเมื่อมีการแพร่กระจายของคลื่นเสียงในตัวกลางของเหลว จะทำให้เกิดวงรอบการสลับกันระหว่างแรงดันสูง (บีบอัด) และความดันต่ำ (คลายตัว) ที่สอดคล้องกับความถี่ของคลื่นเสียง ทำให้เกิดฟองสุญญากาศหรือช่องว่างขึ้นในช่วงความดันต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 1 และเมื่อโพรงอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นไปเรื่อยๆจนกระทั่งไม่สามารถรับพลังงานได้อีกต่อไป โพรงอากาศก็จะแตกออกในรอบความดันสูง เกิดเป็นคลื่นกระแทก (Shock Wave) ซึ่งขณะที่โพรงอากาศระเบิดนั้น สามารถทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 5,000 เคลวิน (K) และความดันสูงถึง 2,000 atm ที่บริเวณนั้นได้ (Sala et al.,1995) ส่งผลให้เกิดกระบวนการ เช่น การลอกออกของพื้นผิว การกัดเซาะ และการแตกออกของอนุภาคหรือเซลล์ ทำให้เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการสกัด (Martins Strieder et al., 2019) มีการนำเทคโนโลยีอัลตราโซนิกส์มาช่วยในการสกัดสมุนไพรหลายๆ ประเภท เช่น ชาหวาน (ชาสมุนไพรจีน) กระเจี๊ยบ เปลือกเมล็ดบัวถาด ลำไยอบแห้ง

เปลือกทับทิม เมล็ดและใบมะไฟจีน เป็นต้น (Xie et al., 2012; Olawuyi et al., 2020; Liu et al., 2013; Zhong & Wang, 2010; Moorthy et al., 2015; พุจิภัณฑ์ เกียรติธนนันทน์ และคณะ, 2562) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโทรเมทรีของน้ำมันไพลที่สกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ที่ทำการเตรียมจากการใช้ตัวแปรต่างๆได้แก่ อุณหภูมิ ความถี่และเวลา

วิธีดำเนินการวิจัย

เริ่มจากล้างทำความสะอาดไพลสดด้วยน้ำสะอาด หั่นไพลด้วยมีดจนได้ชิ้นบางและมีขนาดเล็ก นำไพลที่หั่นแล้วมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 8 นาที จากนั้นนำไพลละเอียดใส่ลงในบีกเกอร์ (ขนาด 50 มิลลิลิตร) ปริมาณ 3.0 กรัม และเติมน้ำมันมะพร้าวลงในบีกเกอร์ที่มีไพลละเอียดอยู่ปริมาตร 10 ml วางลงบนตะแกรง จากนั้นนำไปวางในอ่างของเครื่องอัลตร้าโซนิก ดังแผนภาพในรูปที่ 2 ทำการสกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ตามเงื่อนไขต่างๆ ได้แก่ ความถี่ อุณหภูมิ และเวลาดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 ระบบอัลตร้าโซนิกที่ใช้ในการสกัดน้ำมันไพล

ทำการศึกษาองค์ประกอบสารสกัดน้ำมันไพลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทรกราฟีที่ต่อเข้ากับแมสสเปคโตรมิเตอร์ (GC-MS/MS, SHIMADZU/TQ8050) โดยใช้ electron impact mode (70 eV) มีสภาวะการทดลองคือ ใช้สารสกัดน้ำมันไพลที่เตรียมได้ประมาณ 50 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอลโดยมีปริมาณในแต่ละตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร แล้วฉีดเข้าเครื่อง GC 1 ไมโครลิตร โดยใช้ split mode ที่มีค่าอัตราส่วน ratio เท่ากับ 1:7 ใช้คอลัมน์ DB5 (60 เซนติเมตร × 0.25 มิลลิเมตร) มีแก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สพา (carrier gas) ด้วยอัตราการไหล

(flow rate) คงที่เท่ากับ 1.2 มิลลิลิตร นาที$^{-1}$ ใช้ค่าอุณหภูมิของ injector และ detector เท่ากับ 250 องศาเซลเซียส สำหรับตู้อบ (oven) ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 1 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 80°C จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 120 องศาเซลเซียส แล้วช่วงสุดท้ายเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 220 องศาเซลเซียส ทำการหาและวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของสารสกัดน้ำมันไพลโดยเปรียบเทียบระหว่างแมสสเปคตรัมของสารแต่ละชนิดกับแมสสเปคตรัมมาตรฐานของจากข้อมูลของ Flavour and Fragrance Natural and Synthetic Compounds Library (FFNSC 3)

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการสกัดน้ำมันไพล

ตัวอย่าง	ความถี่ (kHz)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)
S1	28	60	30
S2	40	60	30
S3	40	Unheated	30
S4	40	80	30
S5	40	80	10

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การสกัดน้ำมันจากสมุนไพรด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ เช่น เวลาในการสกัด อุณหภูมิ พลังงานอัลตราซาวนด์ และประเภทของตัวทำละลาย ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการสกัดสารสำคัญของสมุนไพรที่มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกัน การศึกษาในครั้งนี้จึงศึกษาถึงปัจจัยดังกล่าวต่อการสกัดสารสำคัญของน้ำมันไพล (Thilakarathna et al., 2022) องค์ประกอบทางเคมีที่วัดได้จากเทคนิค GC-MS ของน้ำมันไพลที่สกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกด้วยเงื่อนไขต่างๆแสดงในตารางที่ 2 ค่าร้อยละพื้นที่สัมพัทธ์ซึ่งแสดงถึงปริมาณขององค์ประกอบของในน้ำมันไพล ที่สอดคล้องกับค่าเวลาที่สารถูกชะออกจากคอลัมน์ (retention time) โดยเรียงลำดับตามเวลา การพิสูจน์เอกลักษณ์ขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหยโดยเปรียบเทียบสเปกตรัมกับสเปกตรัมมาตรฐาน

ในฐานข้อมูล FFNSC 3 จากผลการทดลอง น้ำมันไพลที่สกัดได้ด้วยเงื่อนไขตาม S1 ถึง S5 สามารถระบุองค์ประกอบทางเคมีได้ในจำนวน 28, 25, 22, 29 และ 24 ชนิดตามลำดับทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณสารที่สามารถสะกัดได้มีปริมาณมากน้อยที่แตกต่างกัน ในตัวอย่างบางตัวอย่างปริมาณสารบางชนิดมีน้อยเกินกว่าจะตรวจจับได้จึงทำให้จำนวนองค์ประกอบที่ระบุได้มีความแตกต่างกัน พบองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยไพลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1679–2562) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2563) ที่กำหนดคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยไพลครบทั้งห้าชนิดได้แก่ α-Pinene, Sabinene, α-Terpinene, γ-Terpinene และ Terpinen-4-ol ในทุกเงื่อนไข ยกเว้น S3 (UH30m40kH) และ S5 (80C10m40kH) ที่ไม่พบ α-Terpinene เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหยโดยเปรียบเทียบสเปกตรัมกับสเปกตรัมมาตรฐานในฐานข้อมูล FFNSC 3 แล้วทำการเลือกเฉพาะองค์ประกอบที่มีค่าดัชนีความคล้ายคลึงกัน Similarity Index (SI) ตั้งแต่ 80 ขึ้นไปจะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงรายละเอียดของมวลโมเลกุล สูตรโมเลกุลขององค์ประกอบเคมีแต่ละตัว และทำการลำดับพีคโดยเรียงตามลำดับเวลา ค่าดัชนีความคล้ายคลึงกันเป็นค่าทางคณิตศาสตร์ในการเปรียบเทียบความเหมือนของสเปกตรัมของสารทดสอบเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาตรฐานในฐานข้อมูลดังสมการ (Wan et al., 2002)

$$SI = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{i - i_o}{i + i_o} \times 100\right)^2}{N}}$$

โดยที่ i เป็นความเข้มของสัญญาณจากการวัดในแต่ละพีค

i_o เป็นความเข้มของสารมาตรฐานที่ใช้เทียบ

N คือจำนวนพีคของสัญญาณขององค์ประกอบเคมี

ค่า SI จึงเป็นค่าที่แสดงความเชื่อมั่นว่าสเปรกตรัมที่ได้จากสารทดสอบมีความเหมือนกับสเปรกตรัมที่มีในฐานข้อมูลและสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองในอดีตที่ผ่านมาได้ องค์ประกอบทางเคมีที่มีค่า SI ต่ำ (มีค่า SI น้อยกว่า 80%) อาจเป็น degradation products ของไพลหรือน้ำมันมะพร้าวที่ยังไม่ทราบโครงสร้างทางเคมีที่แน่ชัด หรือเป็น fragmented products ของสารที่ถูกทำให้แตกตัวในขั้นตอนระหว่างการวัด GC-MS (Bazsó et al., 2016)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบเคมีที่ตรวจพบจากการวัด GC-MS ของน้ำมันไพลที่สกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ด้วยเงื่อนไขต่างๆ

Compound	Sample														
	S1 (60c30m28kH)			S2 (60c30m40kH)			S3 (UH30m40kH)			S4 (80c30m40kH)			S5 (80c10m40kH)		
	RT	%A	SI	RT	%A	SI	RT	%A	SI	RT	%A	SI	RT	%A	SI
Acetoin	2.22	0.78	97	2.22	0.71	97	-	-	-	2.22	0.43	95	2.22	0.25	92
2,3-Butanediol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.95	0.18	81	-	-	-
2-Heptanone	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.22	0.53	89
Cyclohexyl alcohol	5.23	0.07	78	-	-	-	5.23	0.12	81	5.23	0.16	79	-	-	-
α-Pinene	6.91	0.53	92	6.92	0.43	92	6.92	0.70	90	6.92	0.53	91	6.92	0.65	92
Sabinene	8.88	24.69	95	8.88	23.66	96	8.89	31.17	96	8.89	23.24	95	8.88	26.46	96
β-Pinene	9.13	1.12	93	9.13	0.93	94	9.14	1.22	91	9.14	0.83	93	9.13	1.06	93
β-Pinene	9.90	0.52	90	9.90	0.56	91	9.91	0.75	86	9.91	0.54	90	9.90	0.67	91
α-Terpinene	11.63	0.21	89	11.62	0.19	81	-	-	-	11.63	0.15	83	11.62	0.18	75
γ-Terpinene	14.76	0.65	89	14.78	0.57	89	14.78	0.63	86	14.78	0.56	89	14.77	0.63	88
Terpinen-4-ol	26.49	3.16	89	26.48	3.30	89	26.50	3.23	88	26.50	3.68	89	26.49	3.80	90
δ-Octalactone	34.56	1.00	94	34.55	1.18	94	34.57	1.63	92	34.57	1.40	94	34.56	1.47	92
α-Terpinyl acetate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38.65	0.12	83	38.64	0.25	86
ethyl-Decanoate	41.41	0.10	82	-	-	-	-	-	-	41.42	0.11	74	41.42	0.46	92
δ-Decalactone	45.18	1.77	95	45.19	1.84	93	45.19	2.83	94	45.19	1.88	94	45.19	2.30	94
α-Funebrene	45.40	0.14	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sesquisabinene	46.43	0.38	92	46.43	0.39	90	-	-	-	46.44	0.32	89	46.43	0.36	86
(*Z*)-methyl-Isoeugenol	47.13	0.19	75	47.14	0.22	74	-	-	-	47.14	0.18	75	47.14	0.16	71
n-Dodecanoic acid	47.84	0.42	91	47.83	0.37	89	47.85	1.60	92	47.85	0.80	92	47.84	0.16	70
2,3,3-Trimethyl-1-indanone	47.94	0.50	70	47.94	0.45	69	47.96	0.41	66	47.94	0.64	69	47.94	0.71	70
trans-Doremox	48.38	0.34	62	48.38	0.29	63	48.39	0.16	53	48.39	0.29	65	48.38	0.27	61
Myristicin	48.79	0.75	65	48.79	0.74	68	48.79	0.65	65	48.79	0.81	66	48.79	0.80	67
ethyl-Dodecanoate	48.97	0.50	92	48.98	0.63	92	48.98	0.92	93	48.98	0.67	93	48.98	0.85	92
2,3,3-Trimethyl-1-indanone	49.97	32.18	70	49.97	32.68	70	49.97	27.92	70	49.98	32.43	70	49.98	30.72	70
δ-Dodecalactone	52.26	0.74	93	52.26	0.72	92	52.27	1.38	92	52.27	0.77	92	52.27	0.87	91
4'-tert-Butyl-2',6'-dimethylacetophenone	52.94	0.67	59	52.93	0.63	59	52.94	0.52	62	52.94	0.81	58	52.94	0.95	63
n-Tetradecanoic acid	53.86	0.83	64	53.86	0.86	66	53.88	1.56	71	53.87	1.07	57	53.87	0.87	55
4'-tert-Butyl-2',6'-dimethylacetophenone	55.23	17.36	64	55.23	18.28	64	55.24	14.62	65	55.24	18.07	65	-	-	-
Methyl thujate	56.69	2.01	58	56.69	2.35	58	56.70	1.52	56	56.70	2.41	64	-	-	-
δ-Tetradecalactone	58.08	0.29	85	58.09	0.29	86	58.09	0.47	86	58.08	0.24	86	-	-	-
Verdoracine	59.80	8.11	64	59.80	7.72	64	59.81	5.98	65	59.81	6.68	65	-	-	-

หมายเหตุ: RT = Retention time, %A = % area and SI = Similarity index

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3 มาแสดงในรูปแบบกราฟ ได้ผลดังรูปที่ 3 จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีสาร Sabinene ปริมาณมากที่สุดในทุกเงื่อนไขคือมีร้อยละของพื้นที่ในตัวอย่างที่ 1 ถึง 5 ได้แก่ 24.69, 23.66, 31.17, 23.24 และ 26.46 ตามลำดับ ปริมาณองค์ประกอบเคมีรองลงมาที่พบคือ Terpinen-4-ol มีค่าร้อยละพื้นที่อยู่ในช่วง 3.16–3.80 ลำดับต่อมาพบปริมาณของ α-Pinene, γ-Terpinene ใกล้เคียงกันในช่วงปริมาณร้อยละของพื้นที่

0.43–0.70 และพบปริมาณ α-Terpinene น้อยที่สุดในกลุ่มองค์ประกอบเคมีที่สำคัญตามมาตรฐานน้ำมันไพล และสาร δ-Octalactone, δ-Decalactone, δ-Dodecalactone, δ-Tetradecalactone ที่พบนั้นเป็นองค์ประกอบเคมีของสารหอมระเหยที่พบได้จากน้ำมันมะพร้าว (Dimzon et al., 2021)

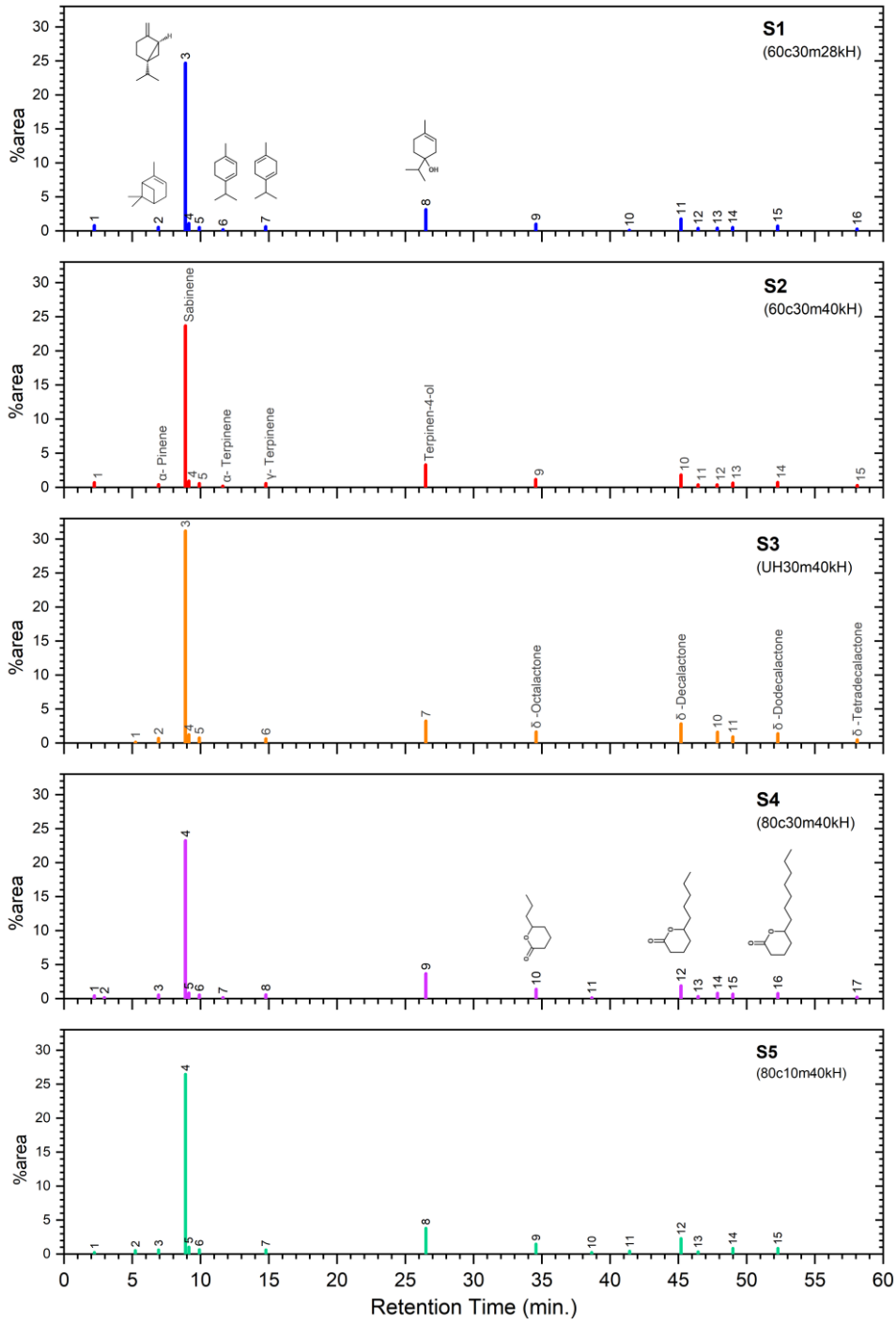
ตารางที่ 3 องค์ประกอบเคมีจากผลการวัด GC-MS ของน้ำมันไพลที่สกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ด้วยเงื่อนไขต่างๆ เลือกเฉพาะองค์ประกอบที่มีค่า SI ตั้งแต่ 80 ขึ้นไป

Compound	Samples														
	S1 (60c30m28kH)			S2 (60c30m40kH)			S3 (UH30m40kH)			S4 (80c30m40kH)			S5 (80c10m40kH)		
	Peak No.	RT	%A	Peak No.	RT	%A	Peak No.	RT	%A	Peak No.	RT	%A	Peak No.	RT	%A
Acetoin	1	2.22	0.78	1	2.22	0.71		-	-	1	2.22	0.43	1	2.22	0.25
2,3-Butanediol		-	-		-	-		-	-	2	2.95	0.18		-	-
2-Heptanone		-	-		-	-		-	-		-	-	2	5.22	0.53
Cyclohexyl alcohol		-	-		-	-	1	5.23	0.12		-	-		-	-
α- Pinene	2	6.91	0.53	2	6.92	0.43	2	6.92	0.70	3	6.92	0.53	3	6.92	0.65
Sabinene	3	8.88	24.69	3	8.88	23.66	3	8.89	31.17	4	8.89	23.24	4	8.88	26.46
β- Pinene	4	9.13	1.12	4	9.13	0.93	4	9.14	1.22	5	9.14	0.83	5	9.13	1.06
β- Pinene	5	9.90	0.52	5	9.90	0.56	5	9.91	0.75	6	9.91	0.54	6	9.90	0.67
α -Terpinene	6	11.63	0.21	6	11.62	0.19		-	-	7	11.63	0.15		-	-
γ -Terpinene	7	14.76	0.65	7	14.78	0.57	6	14.78	0.63	8	14.78	0.56	7	14.77	0.63
Terpinen-4-ol	8	26.49	3.16	8	26.48	3.30	7	26.50	3.23	9	26.50	3.68	8	26.49	3.80
δ -Octalactone	9	34.56	1.00	9	34.55	1.18	8	34.57	1.63	10	34.57	1.40	9	34.56	1.47
α - Terpinyl acetate		-	-		-	-		-	-	11	38.65	0.12	10	38.64	0.25
ethyl -Decanoate	10	41.41	0.10		-	-		-	-		-	-	11	41.42	0.46
δ -Decalactone	11	45.18	1.77	10	45.19	1.84	9	45.19	2.83	12	45.19	1.88	12	45.19	2.30
Sesquisabinene	12	46.43	0.38	11	46.43	0.39		-	-	13	46.44	0.32	13	46.43	0.36
n -Dodecanoic acid	13	47.84	0.42	12	47.83	0.37	10	47.85	1.60	14	47.85	0.80		-	-
ethyl -Dodecanoate	14	48.97	0.50	13	48.98	0.63	11	48.98	0.92	15	48.98	0.67	14	48.98	0.85
δ -Dodecalactone	15	52.26	0.74	14	52.26	0.72	12	52.27	1.38	16	52.27	0.77	15	52.27	0.87
δ -Tetradecalactone	16	58.08	0.29	15	58.09	0.29	13	58.09	0.47	17	58.08	0.24		-	-

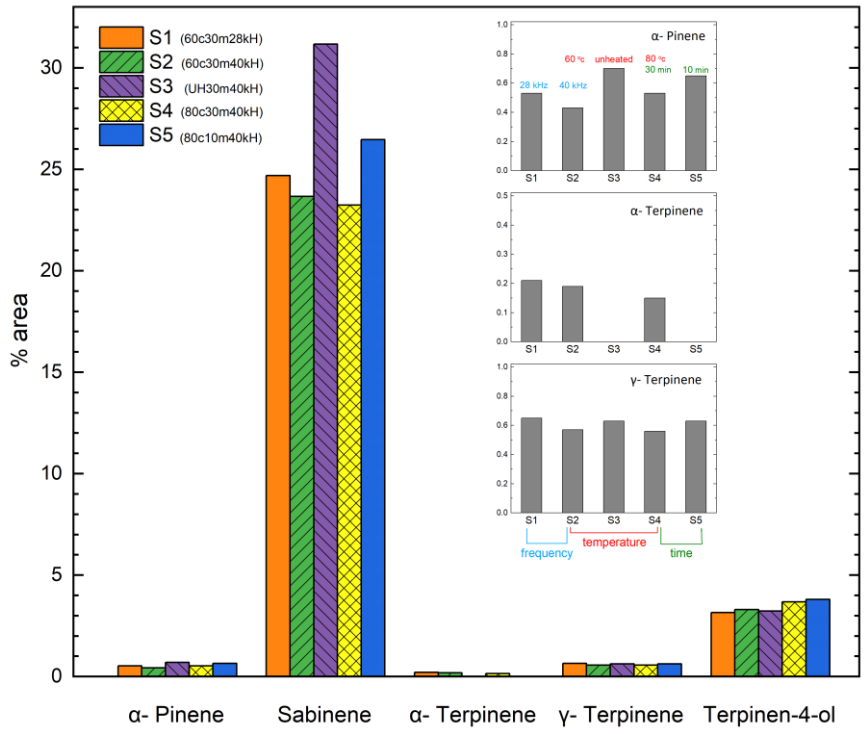
หมายเหตุ: RT = Retention time, %A = % area

รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงร้อยละของพื้นที่ขององค์ประกอบเคมีจากการวัด GC-MS ของตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างองค์ประกอบเคมีที่สำคัญ และขยายสเกลแสดงแผนภูมิเปรียบเทียบปัจจัยความถี่ (S1 กับ S2) ปัจจัยอุณหภูมิ (S2, S3 และ S4) และระยะเวลาการสกัด (S4 และ S5) ในองค์ประกอบเคมี α-Pinene, γ-Terpinene และ Terpinen-4-ol เมื่อเพิ่มความถี่เพิ่มขึ้นจาก 28 เป็น 40 Hz ปริมาณสารที่สกัดได้มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง

และไม่มีสารไหนหายไป ยกเว้น ethyl decanoate ซึ่งน่าจะเป็นสารจากน้ำมันมะพร้าว (Dimzon et al., 2021) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ 60 (S2) กับ อุณหภูมิห้อง (S3) ปริมาณสารที่สกัดได้มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดของสารและปริมาณของสาร พบว่าที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มที่มีปริมาณสารสำคัญของไพลสูงกว่า แต่พบว่า α-terpinene หายไป อาจด้วยเนื่องจากอุณหภูมิเป็นส่วนช่วยในการสกัด α-terpinene สอดคล้องกับงานวิจัยของ Öztürk และคณะ (Öztürk et al., 2009) ที่รายงานผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อต่อการสะกัด alpha-terpinene แต่สารอื่นๆไม่จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ 60 (S3) กับ อุณหภูมิ 80 (S5) ปริมาณสารที่สกัดได้มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง และไม่มีสารไหนหายไป อาจอนุมานได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เพิ่มความสามารถในการสกัดสารออกจากไพล แต่อุณหภูมิมีผลต่อการสกัด α-terpinene (ในกรณี S3-S2) ผลของอุณหูมิต่อปริมาณขององค์ประกอบของสมุนไพรยังคงมีข้อถกเถียงกันเนื่องจากบางการศึกษาพบว่าอุณภูมิที่สูงขึ้นทำให้สารสำคัญบางตัวน้อยลง (Mohammadpour et al., 2019) เนื่องจากความดันไอที่สูงขึ้นจากการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้แรงตึงผิวของสมุนไพรและตัวทำละลายที่ลดลง ทำให้ฟองอากาศที่เกิดจากกระบวนการอัลตร้าโซนิก มีแรงดันระเบิดที่น้อยลงเมื่อเทียบกับเงื่อนไขที่อุณหภูมิน้อยกว่า ทำให้มีแรงดันไม่เพียงพอในการนำสารสำคัญบางชนิดเช่น α-terpinene ออกจาก oil cells หรือ oil droplets ที่อยู่เนื้อเยื่อ parenchymal cells ของเหง้าของไพล (Thilakarathna et al., 2022) ผลการเปรียบเทียบ S4-S5 พบว่า เมื่อลดเวลาจาก 30 นาที เป็น 10 นาที ปริมาณสารที่สกัดได้มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดของสารและปริมาณของสาร พบว่าเมื่อลดเวลาลงมีแนวโน้มที่มีปริมาณสารสำคัญของไพลสูงกว่า แต่พบว่า α-terpinene หายไป อาจเพราะว่าเมื่อใช้เวลาน้อยอาจไม่เพียงพอต่อการสกัด α-terpinene ออกมาแม้อุณหภูมิจะสูงก็ตาม S4-S5 เพราะการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในการสกัดนั้นอุณภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆอย่างช้าๆ นอกจากนั้นพบสาร α-terpinyl acetate ทั้ง S5 และ S4 ทั้งที่ S1-S3 กลับไม่พบ หมายความว่าอุณหภมิสูง 80 องศาเซลเซียส จะนำไปสู่การสร้างสารใหม่ที่อาจเกิดปฏิกิริยาเติมหมู่ acetyl ให้แก่ α-terpene ก็ได้ ในภาพรวมนั้นเราพบว่า S3 ได้สารสำคัญตามาตรฐานน้ำมันไพลมากที่สุด แต่ไม่ได้ α-terpinene เพราะต้องใช้ความร้อนในการช่วยสกัดสารนี้ออก



รูปที่ 3 ร้อยละของพื้นที่ขององค์ประกอบเคมีจากการวัด GC-MS ของตัวอย่าง



รูปที่ 4 ร้อยละของพื้นที่ขององค์ประกอบเคมีจากการวัด GC-MS ของตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างองค์ประกอบเคมีที่สำคัญ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์โครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-แมสสเปกโทรเมทรี ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไพลที่สกัดด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์จากการใช้ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความถี่และเวลา จากการศึกษาพบองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยไพลตามมาตรฐาน มอก. ได้แก่ α-Pinene, Sabinene, α-Terpinene, γ-Terpinene และ Terpinen-4-ol ผลจากการศึกษาปัจจัยความถี่พบว่าปริมาณสารสำคัญที่สกัดได้มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง การสกัดแบบไม่ให้ความร้อนมีแนวโน้มที่มีปริมาณสารสำคัญของไพลสูงกว่า แต่พบว่า α-terpinene หายไป และเมื่อลดเวลาลงมีแนวโน้มที่มีปริมาณสารสำคัญของไพลสูงกว่า จากการทดลองเงื่อนไขการสกัดพบว่าปริมาณสารที่สกัดได้มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงจากการเปลี่ยนความถี่สำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เพิ่มความสามารถ

ในการสกัดสารออกจากไพล นอกจากนี้ที่เงื่อนไขการสกัดที่ความถี่ 40 kHz เป็นเวลา 30 นาที แบบไม่ให้ความร้อนพบว่าได้สารสำคัญในปริมาณมากที่สุด แต่ไม่พบสาร **α**-terpinene เนื่องจากต้องใช้ความร้อนการช่วยสกัดสารนี้ออกมา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ และการสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำการวิจัยจากบริษัท เอ็ม เอ็น ดี อินดัสตรีย์ (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารอ้างอิง

นพมาศ สุนทรเจริญนนท์. (2555). *บทความเผยแพร่ความรู้สู่ประชาชน: น้ำมันไพลทอดต่างจากน้ำมันไพลกลั่นอย่างไร?*. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มีนาคม 2565, จาก http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/109.

เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ. (2549). *สวนสมุนไพรในมหกรรมพืชสวนโลก 2549*. กรุงเทพมหานคร: บริษัทสามเจริญพาณิชย์.

สถาบันการแพทย์แผนไทย. (2542). *เภสัชกรรมแผนไทย*. องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก. กรุงเทพฯ. 224 หน้า.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2563). *น้ำมันหอมระเหยไพล, มอก. 1679-2562*. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 137 ตอนพิเศษ 22ง.

ฑุจิภัณฑ์ เกียรติธนนันทน์, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์, อรพิน เกิดชูชื่น และ ณัติฐพล ไข่แสงศร. (2562). การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากมะไฟจีนด้วยวิธีการใช้ตัวทำละลายและคลื่นเสียงความถี่สูง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 50*(พิเศษ 2), 257-260.

Bazsó, F. L., Ozohanics, O., Schlosser, G., Ludányi, K., Vékey, K., & Drahos, L. (2016). Quantitative Comparison of Tandem Mass Spectra Obtained on Various Instruments. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 27*(8), 1357–1365.

Bui, T. Q., Ngo, H. T. M., & Tran, H. T. (2018). Surface-protective assistance of ultrasound in synthesis of superparamagnetic magnetite nanoparticles and in preparation of mono-core magnetite-silica nanocomposites. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices, 3*(3), 323–330.

Chienthavorn, O., Poonsukcharoen, T., & Pathrakorn, T. (2011). Pressurized liquid and superheated water extraction of active constituents from *Zingiber cassumunar* Roxb. Rhizome. *Separation Science and Technology, 46*(4), 616–624.

Dimzon, I. K. D., Tantengco, G. B., Oquendo, N. A., & Dayrit, F. M. (2021). Profile of volatile organic compounds (vocs) from cold-processed and heat-treated virgin coconut oil (VCO) samples. *Proceedings, 70*(1), 85.

Jeenapongsa, R., Yoovathaworn, K., Sriwatanakul, K. M., Pongprayoon, U., & Sriwatanakul, K. (2003). Anti-inflammatory activity of (E)-1-(3,4-dimethoxyphenyl) butadiene from *Zingiber cassumunar* Roxb. *Journal of Ethnopharmacology, 87*(2–3), 143–148.

Liu, Y., Wei, S., & Liao, M. (2013). Optimization of ultrasonic extraction of phenolic compounds from Euryale ferox seed shells using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, 49, 837–843.

Martins, S. M., Keven, S. E., & Angela A. Meireles, M. (2019). Specific energy: A new approach to ultrasound-assisted extraction of natural colorants. *Food and Public Health, 9*(2), 45–52.

Mohammadpour, H., Sadrameli, S. M., Eslami, F., & Asoodeh, A. (2019). Optimization of ultrasound-assisted extraction of *Moringa peregrina* oil with response surface methodology and comparison with Soxhlet method. *Industrial Crops and Products,* 131, 106–116.

Moorthy, I. G., Maran, J. P., Surya, S. M., Naganyashree, S., & Shivamathi, C. (2015). Response surface optimization of ultrasound assisted extraction of pectin from pomegranate peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 1323–1328.

Olawuyi, I. F., Kim, S. R., Hahn, D., & Lee, W. Y. (2020). Influences of combined enzyme-ultrasonic extraction on the physicochemical characteristics and properties of okra polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 100, 105396.

Öztürk, M., Tel, G., Duru, M. E., Harmandar, M., & Topçu, G. (2009). The Effect of Temperature on the Essential Oil Components of *Salvia potentillifolia* Obtained by Various Methods. *Natural Product Communications, 4*(7), 1934578X0900400.

Sala, F.J., Burgos, J., Condón, S., Lopez, P., & Raso, J. (1995). *Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes.* In: Gould, G.W. (eds) New Methods of Food Preservation. Springer, Boston, MA.

Sukatta, U., Rugthaworn, P., Punjee, P., & Keeratinijakal, V. (2009). Chemical Composition and Physical Properties of Oil from Plai (*Zingiber cassumunar* Roxb.) Obtained by Hydro Distillation and Hexane Extraction. *Agriculture and Natural Resources 43*(5), 212–217.

Thilakarathna, R. C. N., Siow, L. F., Tang, T. K., & Lee, Y. Y. (2022). A review on application of ultrasound and ultrasound assisted technology for seed oil extraction. *Journal of Food Science and Technology, 60*(4), 1222–1236.

Wan, K. X., Vidavsky, I., & Gross, M. L. (2002). Comparing similar spectra: From similarity index to spectral contrast angle. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 13*(1), 85–88.

Xie, J. H., Shen, M. Y., Xie, M. Y., Nie, S. P., Chen, Y., Li, C., & Wang, Y. X. (2012). Ultrasonic-assisted extraction, antimicrobial and antioxidant activities of Cyclocarya paliurus (Batal.) Iljinskaja polysaccharides. *Carbohydrate Polymers, 89*(1), 177–184.

Zhong, K., & Wang, Q. (2010). Optimization of ultrasonic extraction of polysaccharides from dried longan pulp using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers, 80*(1), 19–25.

คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งในระหว่างการเก็บรักษา

PHYSICAL, CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL QUALITY OF PASTEURIZED ORANGE JUICE WITH BEE POLLEN DURING STORAGE

ธีราพร ปฏิเวธวิทูร*
Theeraporn Patiwetwitoon*

สาขาวิชาการประกอบและบริการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
Department of Cookery and Food Service, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

Received: 17 October 2023 Revised: 20 November 2023 Accepted: 13 December 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของน้ำส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งร้อยละ 4 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 21 วัน หลังจากพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 88 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา ในวันที่ 1, 7, 14 และ 21 ของการเก็บรักษา พบว่าความเป็นกรด-ด่างลดลงหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเก็บรักษาในวันที่ 14 และ 21 ปริมาณกรดและปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเก็บรักษาในวันที่ 7, 14 และ 21 ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา ค่าสี L* ลดลงหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเก็บรักษาในวันที่ 7, 14 และ 21 ในขณะที่ค่าสี a* และ b* มีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

* Corresponding author: ธีราพร ปฏิเวธวิทูร
E-mail: theeraporn.pa@bsru.ac.th

ทางสถิติ (p≤0.05) กับการเก็บรักษาในวันที่ 7, 14 และ 21 (87.39-103.64 mg eq GA) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) ในระหว่างการเก็บรักษา (377.73-443.84 mmoles TE) และคุณภาพทางจุลชีววิทยาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร คือ ไม่พบ *Staphylococcus aureus* ต่ออาหาร 0.1 มิลลิลิตร ไม่พบ *Clostridium* spp. ต่ออาหาร 0.1 มิลลิลิตร ไม่พบ *Salmonella* spp. ต่ออาหาร 25 มิลลิลิตร และ *E. coli* น้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 มิลลิลิตร โดยวิธี MPN

คำสำคัญ: น้ำส้มพาสเจอไรซ์, เกสรผึ้ง, เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ, สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The objective of this study was to evaluate the physical, chemical and microbiological quality of pasteurized orange juice mixed with bee pollen during storage. The orange juice was prepared by using orange (*Citrus reticulata* Blanco cv. Sainampueng) supplemented with 4% bee pollen (*Apis mellifera*), followed by pasteurizing at 88 $^{\circ}$C for 15 min and storaged at 4 $^{\circ}$C. The physical, chemical and microbiological properties were examined during the storage day (1, 7, 14 and 21). The result revealed that pH decreased after day 1 of storage, a significant difference was found during storage between day 1, 14 and 21 (p≤0.05). Titratable acidity and total soluble solid increased after day 1 of storage, a significant difference was found during storage between day 1 and 7, 14 and 21 (p≤0.05). Viscosity increased during storage, with significant difference (p≤0.05). L* color decreased after day 1 of storage, a significant difference was found during storage between day 1, 7, 14 and 21 (p≤0.05), while mean values of a* and b* color increased during storage. Total phenolic content decreased after day 1 of storage, a significant difference was found during storage between day 1, 7, 14 and 21 (p≤0.05) (87.39-103.64 mg eq GA), antioxidant capacity decreased during storage, with significant difference (p≤0.05) (377.73-443.84

mmoles TE). The pasteurized orange juice with bee pollen during storage had microbiological quality that met the standard criteria: no *Staphylococcus aureus*, *Clostridium* spp., *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* less than 3 per 1 milliliter was found.

Keywords: Pasteurized Orange Juice, Bee Pollen, Functional Drink, Antioxidant

บทนำ

เกสรผึ้ง (Bee Pollen) คือ เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ของดอกไม้ที่ผึ้งงานเก็บรวบรวมโดยการเข้าไปคลุกเคล้ากับอับเกสรเพื่อให้เกสรติดขนตามตัว จากนั้นผึ้งใช้ขาปัดเขี่ยรวมกันเป็นก้อนใส่ในที่เก็บเกสร (Pollen Basket) บริเวณขาหลังแล้วนำมาเก็บในหลอดรวงของรังผึ้งเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับประชากรในรังผึ้งและสำหรับเลี้ยงตัวอ่อน (รมณี สงวนดีกุล, 2555) สารอาหารที่พบในเกสรผึ้งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน แร่ธาตุ วิตามิน ไขมัน เส้นใยอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive Compound) เช่น เทอร์ปีน สเตอรอล ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิก (Linskens & Jorde, 1997) ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิก เช่น ต้านจุลินทรีย์ ต้านการอักเสบ ต้านการกลายพันธุ์ ต้านอนุมูลอิสระ (Pascoal et al., 2014) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกมีประโยชน์ต่อสุขภาพเนื่องจากช่วยลดความเสี่ยงของโรคที่เกิดจากภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative Stress) และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารโมเลกุลใหญ่ในร่างกาย (Silva et al., 2004) ด้วยคุณค่าทางโภชนาการและคุณประโยชน์ด้านการส่งเสริมสุขภาพดังกล่าว เกสรผึ้งจึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการเสริมลงในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรสอดคล้องกับนโยบายการขับเคลื่อน “เมืองนวัตกรรมอาหาร” (Food Innopolis) การเสริมเกสรผึ้งในเครื่องดื่มน้ำส้มซึ่งเป็นน้ำผลไม้ที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีรสชาติดีและมีคุณค่าทางโภชนาการ จึงเป็นการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพในรูปแบบเครื่องดื่มพร้อมบริโภคเพิ่มความสะดวกสบายและประหยัดเวลาสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจดูแลสุขภาพ ทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าส้มเขียวหวานซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2565 มีพื้นที่การเพาะปลูกส้มเขียวหวาน 130,521 ไร่ และมีผลผลิตรวม 288,467 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,

2566) ปัจจุบันมีเพียงการวิจัยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งเพื่อใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (ธีราพร ปฏิเวธวิทูร และคณะ, 2563) แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้น การวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ คือ เครื่องดื่มน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ก่อนการผลิตเพื่อการจำหน่ายต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

นำส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง (*Citrus reticulata* Blanco cv. Sainampueng) ที่ปลูกในตำบลสันทราย อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มาล้างด้วยน้ำสะอาด นำส้มมาหั่นครึ่งปอกเปลือกออก คั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำส้ม เติมเกสรผึ้งจากผึ้งพันธุ์ (*Apis mellifera*) ซึ่งได้จากดอกไม้หลายชนิด (Multifloral Bee Pollen) เช่น ดอกไมยราบ สาบเสือ ข้าวโพด ที่อยู่ในเขตอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ในปริมาณร้อยละ 4 เนื่องจากทำให้เครื่องดื่มน้ำส้มพาสเจอไรซ์มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดควบคุม 2.16 และ 2.62 เท่า ตามลำดับ (ธีราพร ปฏิเวธวิทูร และคณะ, 2563) จากนั้นทำการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 88 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วบรรจุขณะร้อนลงในขวดแก้วสีชาปิดสนิท ทำให้เย็นทันที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Fellow, 2000) ก่อนวิเคราะห์คุณภาพในวันที่ 1, 7, 14 และ 21 ของการเก็บรักษา ทำการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH Meter (C1010P, Consort, Belgium) ปริมาณกรดด้วยวิธีการไทเทรต (Titratable Acidity; as Citric Acid) (AOAC, 2019) ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดด้วย Hand Refractometer (Master-20Alpha, Atago, Japan) ความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer (RVT-DVII, Brookfield, USA) และค่าสี L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (ColorFlex EZ, HunterLab, USA)

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (Lu et al., 2007) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH Method (Katsube et al., 2004)

และการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ *Staphylococcus aureus* (Tallent et al., 2016), *Clostridium* spp. (สถาบันอาหาร, 2565), *Salmonella* spp. (ISO 6579-1, 2017) และ *Escherichia coli* ด้วยวิธี MPN (Feng et al., 2017) โดยปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในผลิตภัณฑ์ต้องเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (กระทรวงสาธารณสุข, 2548) คือ ไม่พบ *Staphylococcus aureus* ต่ออาหาร 0.1 มิลลิลิตร ไม่พบ *Clostridium* spp. ต่ออาหาร 0.1 มิลลิลิตร ไม่พบ *Salmonella* spp. ต่ออาหาร 25 มิลลิลิตร และ *E. coli* น้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 มิลลิลิตร โดยวิธี MPN

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งเสริมเกสรผึ้งร้อยละ 4 พาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 88 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

คุณภาพ	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
ทางกายภาพ	1	7	14	21
ความเป็นกรด-ด่าง	3.89^{a}±0.03	3.87^{a}±0.01	3.80^{b}±0.03	3.78^{b}
ปริมาณกรด (g/100g)	0.55^{c}±0.01	0.61^{b}	0.61^{b}	0.62^{a}
ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (^{o}Brix)	11.53^{b}±0.06	12.00^{a}	12.00^{a}	12.00^{a}
ความหนืด (cps)	1.87^{d}±0.01	1.93^{c}±0.01	1.98^{b}±0.01	2.17^{a}
ค่าสี L*	52.88^{a}±0.09	51.74^{b}±0.02	51.72^{b}±0.14	51.85^{b}±0.03
ค่าสี a*	17.13^{c}±0.21	17.54^{b}±0.06	17.96^{a}±0.10	17.32^{bc}±0.03
ค่าสี b*	46.61^{b}±0.53	47.01^{b}±0.13	47.90^{a}±0.20	47.62^{a}±0.06

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน ความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งลดลงหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเก็บรักษาในวันที่ 14 และ 21 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.89±0.03, 3.87±0.01, 3.80±0.03 และ 3.78 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tiencheu et al. (2021) ที่พบว่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มผสมเลมอน ขิง และน้ำผึ้งพาสเจอไรซ์ลดลงในระหว่างการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 25 และ 4 องศาเซลเซียส Raji et al. (2022) พบว่าน้ำส้มซ่าผสมน้ำสับปะรดพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีความเป็นกรด-ด่างลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนั้น Dos Reis et al. (2018) พบว่าน้ำเสาวรสพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 88 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีความเป็นกรด-ด่างลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 15 วัน เช่นกัน จากการทดลองพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ เนื่องจากในผลไม้มีองค์ประกอบของกรดอินทรีย์จำนวนมาก (Farzana et al., 2010; Tiencheu et al., 2021) และความเป็นกรด-ด่างของน้ำผลไม้ยังขึ้นอยู่กับระยะความสุกของผลไม้อีกด้วย (Falade et al., 2003) นอกจากนั้นความเป็นกรด-ด่างในน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบในผนังเซลล์พืชเปลี่ยนแปลงเป็นกรดเพกทินิก (Pectenic Acid) (Raji et al., 2022; Wisal et al., 2013; Yadav et al., 2014) หรือเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำตาลรีดิวซ์ (Mehmood et al., 2008; Raji et al., 2022) จึงทำให้ปริมาณกรดเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความเป็นกรด-ด่างลดลง (Wisal et al., 2013) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.78-3.89 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีความเป็นกรด (ความเป็นกรด-ด่าง<4.60) ความเป็นกรด-ด่างนี้สามารถยับยั้งการงอกและการสร้างสปอร์ของเชื้อ *Clostridium botulinum* ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นตัวกำหนดการเน่าเสียของน้ำผลไม้ (Farzana et al., 2010) โดยใช้ประเมินความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา (Geraldi et al., 2021)

ปริมาณกรดของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเก็บรักษาในวันที่ 7, 14 และ 21 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.55±0.01, 0.61, 0.61 และ 0.62 g/100g ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tiencheu et al. (2021) ที่พบว่าปริมาณกรดของน้ำส้มผสมเลมอน ขิง

และน้ำผึ้งพาสเจอไรซ์มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25 และ 4 องศาเซลเซียส ในผลไม้ประกอบด้วยกรดอินทรีย์อยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดและความสุกของผลไม้ซึ่งส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้เกิดรสเปรี้ยวและให้คุณลักษณะเฉพาะกับเครื่องดื่มน้ำผลไม้ โดยปริมาณกรดเป็นตัวกำหนดรสชาติ (Acid Taste) ในน้ำผลไม้ ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่างแสดงถึงแนวโน้มของการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ (Farzana et al., 2010)

จากการทดลองพบว่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งที่เก็บรักษาในวันที่ 7 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับวันที่ 14 (3.87± 0.01 และ 3.80±0.03 ตามลำดับ) ส่วนปริมาณกรด (Titratable Acidity; as Citric Acid) ของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งที่เก็บรักษาในวันที่ 7 และ 14 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือ 0.61 อาจเนื่องจากการวัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้จะวัดความเข้มข้นของกรดในอาหาร ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างจะวัดความเป็นกรดจากไฮโดรเจนไอออนที่พบในตัวอย่าง ความเป็นกรด-ด่างกับ Titratable Acidity อาจไม่สัมพันธ์กัน แต่ Titratable Acidity มีความสัมพันธ์และใช้ประมาณค่า Total Acidity (Nielsen, 1998)

ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเก็บรักษาในวันที่ 7, 14 และ 21 โดยในวันที่ 1 ของการเก็บรักษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.53±0.06 $^{\circ}$Brix และในวันที่ 7, 14 และ 21 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือ 12.00 $^{\circ}$Brix เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tiencheu et al. (2021) ที่พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของน้ำส้มผสมเลมอน ขิง และน้ำผึ้งพาสเจอไรซ์มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส Gouma et al. (2020) พบว่าของแข็งที่ละลายทั้งหมดในน้ำแครอทพาสเจอไรซ์มีปริมาณสูงขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้นเนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาเกิดการสลายตัวของพอลิแซ็กคาไรด์เป็นโมโนแซ็กคาไรด์และโอลิโกแซ็กคาไรด์ การที่ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาแสดงถึงสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม โดยหากปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดในน้ำผลไม้ลดลงแสดงว่าเกิดการหมักของเชื้อจุลินทรีย์โดยน้ำตาลถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแอลกอฮอล์ (Wisal et al., 2013) ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดที่พบในน้ำส้มพาสเจอไรซ์ยังเกิดจากการเสริมเกสรผึ้ง โดยธีราพร ปฏิเวธวิทูร และคณะ (2563) พบปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเกสรผึ้งร้อยละ 52.83 และยังพบว่าการเสริม

เกสรผึ้งในเครื่องดื่มน้ำส้มพาสเจอไรซ์ร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 11.93±0.12, 12.06, 13.20, 14.20 และ 15.20 °Brix ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดในเครื่องดื่มน้ำส้มพาสเจอไรซ์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเสริมเกสรผึ้งในปริมาณที่สูงขึ้น

ความหนืดของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.87±0.01, 1.93±0.01, 1.98±0.01 และ 2.17 cps ตามลำดับ Gouma et al. (2020) ได้ทำการพาสเจอไรซ์น้ำแครอทที่อุณหภูมิ 0, 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาน้ำแครอทที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีความหนืดน้อยกว่าน้ำแครอทที่ผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากภายหลังการให้ความร้อนกับน้ำผลไม้จะทำให้เกิดการละลายของเพคตินและเซลลูโลสจากผนังเซลล์พืช แล้วเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Gouma et al., 2020) ความหนืดของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเป็นผลจากเพคตินและเซลลูโลสในส้มและเกสรผึ้ง

ค่าสี L* (ความสว่าง) ของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งลดลงหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเก็บรักษาในวันที่ 7, 14 และ 21 ส่วนค่าสี a* (สีแดง) และ b* (สีเหลือง) ของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งในวันที่ 7, 14 และ 21 ของการเก็บรักษามีค่าเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นหลังจากวันที่ 1 คือ มีสีแดง และมีสีเหลืองมากขึ้น สีของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งเกิดจากองค์ประกอบของน้ำส้ม ได้แก่ แคโรทีนอยด์ และสีของเกสรผึ้งเกิดจากฟลาโวนอยด์และแคโรทีนอยด์ เมื่อทำการศึกษางานวิจัยที่มีการเสริมเกสรผึ้งในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น น้ำส้มพาสเจอไรซ์ (ธีราพร ปฏิเวธวิทูร และคณะ, 2563) ขนมปังชนิดที่ไม่มีส่วนประกอบของกลูเตน (Conte et al., 2018) บิสกิต (Krystyjan et al., 2015) คุกกี้ (Sokmen et al., 2022) และไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ (Novaković et al., 2021) พบว่าเมื่อเสริมเกสรผึ้งในปริมาณสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าสี L* ลดลง ส่วนค่าสี a* และ b* สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งภายหลังจากการให้ความร้อนและในระหว่างการเก็บรักษาเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ Isomerization ของแคโรทีนอยด์ (Wibowo et al., 2018) รูปที่ 1 (ก) เกสรผึ้งที่ใช้ในการทดลองมีสีน้ำตาลอ่อน (Light Brown) และสีเหลืองอ่อน (Pale Yellow) สีของเกสรผึ้งที่พบได้โดยทั่วไปจะมีสีเหลืองอ่อน สีเหลือง สีส้มจนถึงสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากฟลาโวนอยด์และ

แคโรทีนอยด์ที่อยู่ในเกสรผึ้งและยังขึ้นอยู่กับปริมาณของเหลว น้ำตาลหรือน้ำหวาน (Nectar) ที่ผึ้งผสมกับเกสร (Stanley & Linskens, 1974) และ (ข) น้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผู้วิจัยพบว่าลักษณะทางกายภาพรวมถึงลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกัน

รูปที่ 1 (ก) ลักษณะและสีของเกสรผึ้งที่ใช้ในการทดลอง และ (ข) ลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งเสริมเกสรผึ้งร้อยละ 4 พาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 88 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพทางเคมีของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

คุณภาพทางเคมี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
	1	7	14	21
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg eq GA)	103.64^{a}±0.52	96.22^{b}±0.55	94.86^{b}±0.56	87.39^{c}±0.18
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (mmoles TE)	443.84^{a}±0.83	423.83^{b}±0.84	412.70^{c}±0.84	377.73^{d}±0.85

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งลดลงหลังจากวันที่ 1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเก็บรักษาในวันที่ 7, 14 และ 21 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 103.64±0.52, 96.22±0.55, 94.86± 0.56 และ 87.39±0.18 mg eq GA (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก) ต่อน้ำส้ม 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยต่าง ๆ ที่พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำส้มซ่าผสมน้ำสับปะรดพาสเจอไรซ์ (Raji et al., 2022) น้ำเสาวรสพาสเจอไรซ์ (Dos Reis et al., 2018) น้ำปาล์มบูเตียพาสเจอไรซ์ (Jachna et al., 2016) น้ำส้มผสมน้ำแครอทพาสเจอไรซ์ (Khalil et al., 2023) เช่นเดียวกับ Alim et al. (2023) ที่ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำแอปเปิล น้ำส้ม และน้ำสับปะรด ทั้งในรูปแบบที่ไม่ผ่านการแปรรูป (น้ำผลไม้สด) ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และน้ำผลไม้แปรรูปที่จำหน่ายในท้องตลาด พบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน การลดลงของสารประกอบฟีนอลิกเกิดขึ้นเนื่องจากการมีคุณสมบัติที่ไวต่อแสง ออกซิเจน ความร้อนจึงถูกทำลายได้ง่าย และยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันการออกซิไดซ์สารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่น (Kim et al., 2018)

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 1, 7, 14 และ 21 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 443.84±0.83, 423.83±0.84, 412.70±0.84 และ 377.73±0.85 mmoles TE (Trolox Equivalent) ต่อน้ำส้ม 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับการวิจัยของ Dos Reis et al. (2018) ซึ่งพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำเสาวรสพาสเจอไรซ์ลดลงในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา Odriozola-Serrano et al. (2008) พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำสตรอว์เบอร์รีพาสเจอไรซ์ลดลงในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา และ Chen et al. (2020) พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำราสป์เบอร์รีแดงพาสเจอไรซ์ที่ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาเกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ลดลง จากการวิจัยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเกสรผึ้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในเกสรผึ้ง (Kaskoniene et al., 2015; Kroyer & Hegedus, 2001)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพจุลชีววิทยาของน้ำส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งเสริมเกสรผึ้งร้อยละ 4 พาสเจอไรซ์ด้วยอุณหภูมิ 88 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

คุณภาพทางจุลชีววิทยา	เกณฑ์มาตรฐาน	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)			
		1	7	14	21
Staphylococcus aureus	ไม่พบ ต่ออาหาร 0.1 มิลลิลิตร	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Clostridium spp.	ไม่พบ ต่ออาหาร 0.1 มิลลิลิตร	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Salmonella spp.	ไม่พบ ต่ออาหาร 25 มิลลิลิตร	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Escherichia coli	น้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 มิลลิลิตร	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3

หมายเหตุ: <0.3 = ไม่พบการเจริญของเชื้อ (Growth was not found)

จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน น้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งมีคุณภาพทางจุลชีววิทยาเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร คือ ไม่พบ *Staphylococcus aureus* ต่ออาหาร 0.1 มิลลิลิตร, *Clostridium* spp. ต่ออาหาร 0.1 มิลลิลิตร, *Salmonella* spp. ต่ออาหาร 25 มิลลิลิตร และ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 มิลลิลิตร โดยวิธี MPN ในการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งมีการควบคุมกระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะและการเลือกใช้วัตถุดิบเกสรผึ้งที่มีเครื่องหมาย อย. จากการวิจัยของ De-Melo et al. (2016); Pascoal et al. (2014) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกในเกสรผึ้งมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ โดยสามารถยังยั้ง *Staphylococcus aureus*, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Candida glabrata* ส่วนการวิจัยของ Morais et al. (2011) พบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งสามารถยับยั้ง *Bacillus cereus, Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *E. coli* และยีสต์ Velásquez (2022)

ได้ใช้สารสกัดจากเกสรผึ้งเติมลงใน K-carrageenan Edible Films ที่ใช้สำหรับเนื้อวัว พบว่าสามารถยับยั้ง *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas* spp. และ Aerobic Plate Counts นอกจากนั้น De-Melo et al. (2016) พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกับความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของเกสรผึ้ง โดยความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเกสรผึ้ง

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์น้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน พบว่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 3.78-3.89 จัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีความเป็นกรดซึ่งแสดงถึงความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ ปริมาณกรดอยู่ในช่วง 0.55-0.62 g/100g โดยปริมาณกรดเป็นตัวกำหนดรสชาติของน้ำผลไม้ ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 1 ของการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดแสดงถึงสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม ความหนืดที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เป็นผลจากความร้อนในการพาสเจอไรซ์ทำให้เกิดการสลายตัวของเพคตินและเซลลูโลสในส้มและเกสรผึ้ง ในระหว่างการเก็บรักษาค่าสี L* ลดลง ในขณะที่ค่าสี a* และ b* มีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสีของฟลาโวนอยด์และแคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิก โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงจากวันที่ 1 เพียงร้อยละ 15.68 และ 14.90 ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยต่อการบริโภคด้านจุลชีววิทยาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จากข้อมูลคุณภาพดังกล่าวสามารถใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาและประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันจากเกสรผึ้งเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป นอกจากนั้นควรศึกษาการใช้กระบวนการแปรรูปอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารน้อยกว่าการใช้ความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแปรรูปที่ช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณประโยชน์ด้านการส่งเสริมสุขภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร

กิตติกรรมประกาศ

สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2548). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่องผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร*. สำนักอาหาร, สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, กระทรวงสาธารณสุข.

ธีราพร ปฏิเวธวิทูร, บุญมี กวินเสกสรรค์, สมบัติ ทีฆทรัพย์ และ เธียร ธีระวรวงศ์. (2563). นวัตกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มพาสเจอร์ไรส์เสริมเกสรผึ้งเพื่อใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ. *วารสารมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, *4*(1), 59-69.

รมณี สงวนดีกุล. (2555). ผลิตภัณฑ์จากผึ้ง, น. 281-301. ใน: สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ และ สุรีรัตน์ เดี่ยววาณิชย์. *ชีววิทยาของผึ้ง*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันอาหาร. (2565). *วิธีการตรวจ Clostridium spp. In-house method based on American Public Health Association (APHA): 2015, Chapter 24*. ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ, สถาบันอาหาร.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2566, จาก https://www.oae.go.th/view/1/ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร/TH-TH.

Alim, M. A., Karim, A., Shohan, M. A. R., Sarker, S. C., Khan, T., Mondal, S., Esrafil, M., Linkon, K. M. M. R., Rahman, M. N., Akther, F., & Begum, R. (2023). Study on stability of antioxidant activity of fresh, pasteurized, and commercial fruit juice during refrigerated storage. *Food and Humanity*, *1*, 1117-1124. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.008.

AOAC. (2019). *Official methods of analysis of the association of the official analysis chemists*. Arlington: Association of official analytical chemists.

Chen, J., Du, J., Li, M., & Li, C. (2020). Degradation kinetics and pathways of red raspberry anthocyanins in model and juice systems and their correlation with color and antioxidant changes during storage. *Food Science and Technology*, *128*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109448.

Conte, P. Caro, A. D., Balestra, F., Piga, A., & Fadda, C. (2018). Bee pollen as a functional ingredient in gluten-free bread: A physical-chemical, technological and sensory approach. *Food Science and Technology*, *90*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.002.

De-Melo, A. A. M., Estevinho, M. L. M. F., Sattler, J. A. G., Souza, B. R., Freitas, A. D. S., Barth, O. M., & Almeida-Muradian, L. B. (2016). Effect of processing conditions on characteristics of dehydrated bee-pollen and correlation between quality parameters. *Food Science and Technology*, *65*, 808-815. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.014.

Dos Reis, L. C. R., Facco, E. M. P., Flôres, S. H., & Rios, A. O. (2018). Stability of functional compounds and antioxidant activity of fresh and pasteurized orange passion fruit (*Passiflora caerulea*) during cold storage. *Food Research International*, *106*, 481-486. https://doi.org/10.1016/j.foodres. 2018.01.019.

Falade, O. S., Sowunmi, O. R., Oladipo, A., Tubosun, A., & Adewusi, S. R. A. (2003). The level of organic acids in some Nigerian fruits and their effect on mineral availability in composite diets. *Pakistan Journal of Nutrition*, *2*(2), 82-88. https://doi.org/10.3923/pjn.2003.82.88.

Farzana, T., Hossain, A., Hossain, K., Lopa, D., & Formuzul Haque, K. M. (2010). Quality Assessment of Industrially Processed Fruit Juices Available in Dhaka City, Bangladesh. *Malaysian journal of nutrition*, *16*(3), 431-438. https://www.researchgate.net/publication/225300621.

Fellows, P. (2000). *Food processing technology: Principles and practice*. 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Feng, P., Weagant, S. D., Grant, M. A., & Burkhardt, W. (2017). *BAM Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and the Coliform bacteria*. Retrieved September 30, 2021, from https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria

Geraldi, M. V., Cazarin, C. B. B., Dias-Audibert, F. L., Pereira, G. A., Carvalho, G. G., Kabuki, D. Y., Catharino, R. R., Pastore, G. M., Behrens, J. H., Cristianini, M., & Marostica Júnior, M. R. (2021). Influence of high isostatic pressure and thermal pasteurization on chemical composition, color, antioxidant properties and sensory evaluation of jabuticaba juice. *Food Science and Technology*, *139*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110548.

Gouma, M., Álvarez, I., Condón, S., & Gayán, E. (2020). Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: Impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *64*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102362.

ISO 6579-1. (2017). *Microbiology of the food chain-horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella-part 1: detection of Salmonella spp*. Geneva: International Organization for Standardization.

Jachna, T. J., Hermes, V. S., Flôres, S. H., & Rios, A. O. (2016). Bioactive compounds in pindo palm (*Butia capitata*) juice and in pomace resulting of the extraction process. *Science of Food and Agriculture*, *96*(4), 1216-1222. https://doi.org/10.1002/jsfa.7209.

Kaskoniene, V., Ruockuviene, G., Kaskonas, P., Akuneca, I., & Maruska, A. (2015). Chemometric analysis of bee pollen based on volatile and phenolic compound compositions and antioxidant properties. *Food Analytical Methods*, *8*, 1150-1163. https://doi.org/10.1007/s12161-014-9996-2.

Katsube, T., Tabata. H., Ohta, Y., Yamasaki, Y., Anuurad, E., Shiwaku, K., & Yamane, Y. (2004). Screening for antioxidant activity in edible plant products: comparison of low-density lipoprotein oxidation assay, DPPH radical scavenging assay, and Folin-Ciocalteu assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(8), 2391-2396. https://doi.org/10. 1021/jf035372g

Khalil, A. A., Khan, A. A., Khalid A., Abid, Z., Proestos, C., Bhat, Z. F., Shahbaz, M. U., & Aadil, R. M. (2023). Comparing the antioxidant properties and volatile compounds of carrot-orange juice blend processed through varied chemical, pasteurization and ultrasound conditions. *Ultrasonics Sonochemistry*, *98*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106534.

Kim, A. N., Kim, H. J., Chun, J., Heo, H. J., Kerr, W. L., & Choi, S. G. (2018). Degradation kinetics of phenolic content and antioxidant activity of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) puree at different storage temperatures. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, *89*, 535-541. https://doi.org/ 10.1016/j.lwt.2017.11.036.

Kroyer, G., & Hegedus, N. (2001). Evaluation of bioactive properties of pollen extracts as functional dietary food supplement. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *2*(3), 171-174. https://doi.org/10.1016/ S1466-8564(01)00039-X.

Krystyjan, M., Gumul, D., Ziobro, R., & Korus, A. (2015). The fortification of biscuits with bee pollen and its effect on physiochemical and antioxidant properties in biscuits. *Food Science and Technology*, *63*, 640-646. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.075.

Linskens, H. F., & Jorde, W. (1997). Pollen as food and medicine-A review. *Economic Botany*, *51*, 78-86. https://doi.org/10.1007/BF02910407.

Lu, J., Zhao, H., Chen, J., Fan, W., Dong, J., Kong, W., Sun, J., Cao, Y., & Cai, G. (2007). Evolution of phenolic compounds and antioxidant activity during malting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(26), 10994-11001. https://doi.org/10.1021/jf0722710.

Mehmood, Z., Zeb, A., Ayub, M., Bibi, N., Badshah, A., & Ihsanullah, A. (2008). Effect of pasteurization and chemical preservatives on the quality and shelf stability of apple juice. *American Journal of Food Technology*, *3*(2), 147-153. https://doi.org/10.3923/ajft.2008.147.153.

Morais, M., Moreira, L., Feas, X., & Estevinho, L. M. (2011). Honeybee-collected pollen from Portuguese natural parks: palynological origin, phenolic content, antioxidant properties and antimicrobial activity. *Food and Chemical Toxicology*, *49*(5), 1096-1101. https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.01.020.

Nielsen, S. S. (1998). *Food Analysis*. 2nd ed. Maryland: Aspen Publishers, Inc.

Novaković, S., Djekic, I., Pešić, M., Kostić, A., Milinčić, D., Stanisavljević, N., Radojević, A., & Tomasevic, I. (2021). Bee pollen powder as a functional ingredient in frankfurters. *Meat Science*, *182*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108621.

Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Phenolic acids, flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity of strawberry juices processed by high intensity pulsed electric fields or heat treatments. *European Food Research and Technology*, *228*(2), 239-248. https://doi.org/10.1007/s00217-008-0928-5.

Pascoal, A., Rodrigues, S., Teixeira, A., Feas, X., & Estevinho, L. M. (2014). Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory. *Food and Chemical Toxicology*, *63*, 233-239. https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.11.010.

Raji, A. O., Adebayo, O. F., & Sanusi, S. M. (2022). Anti oxidative potentials and storage stability of pasteurised mixed fruits juices from pineapple and bitter orange. *Food Bioscience*, *49*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.fbio. 2022. 101937.

Silva, B. M., Andrade, P. B., Valentao, P., Ferreres, F., Seabra, R. M., & Ferreira, M. A. (2004). Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit (pulp peel and seed) and jam: antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*, 4705-4712. https://doi.org/10.1021/jf040057v.

Sokmen, O., Ozdemir, S., Dundar, A. N., & Cinar, A. (2022). Quality properties and bioactive compounds of reduced-fat cookies with bee pollen. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *29*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100557.

Stanley, R. G., & Linskens, H. F. (1974). *Pollen: Biology biochemistry management*. Heidelberg: Springer-Verlag.

Tallent, S., Hait, J., Bennett, R. W., & Lancette, G. A. (2016). *BAM Chapter 12: Staphylococcus aureus*. Retrieved September 30, 2021, from http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071429.htm.

Tiencheu, B., Nji, D. N., Achidi, A. U., Egbe, A. C., Tenyang, N., Ngongang, E. F. T., Djikeng, F. T., & Fossi, B. T. (2021). Nutritional, sensory, physico-chemical, phytochemical, microbiological and shelf-life studies of natural fruit juice formulated from orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*), Honey and Ginger (*Zingiber officinale*). *Heliyon*, *7*, 1-11. https://doi.org /10.1016/j.heliyon.2021.e07177.

Velásquez, P., Montenegro, G., Valenzuela, L. M., Giordano, A., Cabrera-Barjas, G., & Martin-Belloso, O. (2022). k-carrageenan edible films for beef: honey and bee pollen phenolic compounds improve their antioxidant capacity. *Food Hydrocolloids*, *124*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107250.

Wibowo, S., Buvé, C., Hendrickx, M., Loey, A. V., & Grauwet, T. (2018). Integrated science-based approach to study quality changes of shelf-stable food products during storage: A proof of concept on orange and mango juices. *Trends in Food Science & Technology*, *73*, 76-86. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.006.

Wisal, S., Ullah, J., Alam Zeb, A., & Khan, M. Z. (2013). Effect of refrigeration temperature, sugar concentrations and different chemicals preservatives on the storage stability of strawberry juice. *International Journal of Engineering & Technology*, *13*(2), 160-168. https://www.researchgate.net/publication/307406064.

Yadav, P., Garg, N., & Kumar, S. (2014). Improved shelf stability of mulberry juice by combination of preservatives. *Indian Journal of Natural Products and Resources, 5*(1), 62-66. http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/27479.

การพัฒนาข้าวหมากจากข้าวไรซ์เบอรี่ และการศึกษาคุณสมบัติของยีสต์ข้าวหมากต่อการต้านทานแบคทีเรีย *ESCHERICHIA COLI*

THE DEVELOPMENT OF KHAO-MAK FROM RICEBERRY RICE AND STUDY OF CHARACTERISTICS OF YEAST KHAO-MAK AGAINST BACTERIA *ESCHERICHIA COLI*

พรพรรณ รัตนะสัจจะ[1], จารุณี สนองคุณ[1], อาคม หะยีอูมา[1], มานพ สังข์แก้ว[2] และ พิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร[2,*]

Pornpan Ruttanasutja[1], Jarunee Sanongkhun[1], Akom Hayeeuma[1], Manop Sungkaew[2] and Pitchya Tangsombatvichit[2,*]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[1] Division of Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[2] Division of Health Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Received: 13 November 2023 Revised: 14 December 2023 Accepted: 25 December 2023

บทคัดย่อ

ข้าวหมากเป็นอาหารหมักด้วยจุลินทรีย์จากภูมิปัญญาไทย อย่างไรก็ตามข้าวหมากแม้จะมีงานวิจัยมากมายที่ระบุถึงประโยชน์ต่อผู้บริโภค แต่ข้าวหมากก็ยังไม่เป็นที่นิยมในการบริโภคมากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาข้าวหมากจากข้าวไรซ์เบอรี่ โดยกำหนดสูตรข้าวหมาก 3 สูตร คือ ข้าวหมากข้าวเหนียวขาว ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวหมากข้าวเหนียวขาว อัตราส่วน 50:50 และ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ผลการทดลองพบว่าข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ที่หมัก 3 วัน มีความหวานเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 16.9±0.4% และ ปริมาณแอลกอฮอล์เฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 0.58±0.03% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* Corresponding author: พิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร
Email: pitchya.t@rmutsb.ac.th

ผลการทดลองคุณค่าทางอาหาร พบว่า ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่มีโปรตีนและใยอาหารสูงที่สุด เท่ากับ 6.33±0.09 และ 5.24±0.06 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับข้าวหมากอีก 2 สูตร รวมทั้งข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 71.10±0.25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 194.60±3.10 ไมโครโมลต่อ 100 กรัม และมีความสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 87.56% ในขณะที่ข้าวหมากทั้ง 3 สูตรสามารถตรวจพบยีสต์ที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ผลการทดลองพบว่า ยีสต์ไอโซเลทจากข้าวหมากข้าวเหนียวขาว (W15) และยีสต์ไอโซเลทจากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ (B1) มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส เท่ากับ 11.67±0.11 และ 9.80±0.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อระบุบ่งชี้สายพันธุ์ยีสต์ในข้าวหมากระดับพันธุกรรมของยีสต์ด้วยวิธีการ sequencing บริเวณตำแหน่งจำเพาะ 2 บริเวณ คือ Internal transcribed spacer (ITS region) และบริเวณ 26S rRNA พบว่า ยีสต์ไอโซเลท W15 และ B1 คือ *Saccharomycopsis fibuligera* เช่นเดียวกัน

คำสำคัญ: ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่, ความหวานต่ำ, สารต้านอนุมูลอิสระ, คุณค่าทางอาหาร, ต้านเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli*

Abstract

Khao-Mak is fermented food with microorganisms from Thai wisdom. However, there are many research articles showing its benefits to consumers. But Khao-Mak is still not popular for consumption. Therefore, the aim of this research was to develop fermented rice from Riceberry. By specifying 3 treatments for Khao-Mak, there are white glutinous rice, Riceberry rice mixed with white glutinous rice, ratio 50:50 and Riceberry rice. The results showed that 3 day fermentation, the average value of sweetness (°brix) of Khao-Mak Riceberry rice was the lowest as 16.9±0.4% and the average alcohol content was the lowest 0.58±0.03%, significantly. The results of the nutritional value investigated that Riceberry rice had the highest protein and dietary fiber as 6.33±0.09 and 5.24±0.06 grams per 100 grams, respectively, when compared

two others Khao Mak treatments. Moreover, The total phenolic content of Khao Mak with Riceberry rice was 71.10±0.25 milligrams per 100 grams, the antioxidants were 194.60±3.10 µmol per 100 grams, and the best free radical inhibition ability was 87.56%, significantly. In addition, all 3 treatments for Khao-Mak showed that isolated yeasts were effective in inhibiting the growth of bacteria *Escherichia coli* could be detected. The results showed that isolated yeast from white glutinous rice (W15) and isolated yeast from Riceberry rice (B1) had clear zone diameters of 11.67±0.11 and 9.80±0.20 mm, respectively. When identifying the genetic level of isolated yeasts via sequencing the 2 specific regions, namely the Internal transcribed spacer (ITS region) and the 26S rRNA region, found that the isolated yeasts W15 and B1 were also *Saccharomycopsis fibuligera*.

Keywords: fermented Riceberry, Low sugar brix, Antioxidant, Nutritional value, Against bacteria *Escherichia coli*

บทนำ

ข้าวหมาก (Khao-Mak) เป็นอาหารหมักด้วยจุลินทรีย์จากภูมิปัญญาไทย ต้นตำรับข้าวหมากผลิตจากข้าวเหนียวขาวนึ่งสุกผสมกับลูกแป้งข้าวหมาก โดยลูกแป้งข้าวหมากมีส่วนผสมของสมุนไพรไทยหลายชนิด และมีจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ได้แก่ รา แบคทีเรีย และยีสต์ เมื่อข้าวเหนียวขาวนึ่งสุกผสมกับลูกแป้งเป็นระยะเวลาหนึ่ง เกิดกระบวนการหมักตามธรรมชาติ จะได้ข้าวหมากที่มีรสชาติหวานและมีกลิ่นหอมของแอลกอฮอล์ระดับต่ำ (Limtong et.al., 2002; Limtong et.al., 2005) จากงานวิจัยพบว่าจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักของข้าวหมาก ได้แก่ รา *Mucor* sp., *Amylomyces* sp. สร้างเอนไซม์อะไมเลส ย่อยแป้งจากข้าวให้เป็นน้ำตาล น้ำตาลที่ได้มีความหวานประมาณ 30-40 ºbrix (ปริมาณน้ำตาลคิดเป็นกรัมของน้ำซูโครสต่อ 100 มิลลิลิตร) (Limtong et.al., 2002; Limtong et.al., 2005) เมื่อหมักต่อไปก็จะมีกลิ่นแอลกอฮอล์อ่อนๆ เนื่องจากมียีสต์บางชนิด เช่น ยีสต์ *Sacchacomyces* sp., *Saccharomycopsis* sp. หมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ข้าวหมากมีจุลินทรีย์ช่วยปรับ

กลไกในร่างกายให้มีความสมดุล ทำให้ร่างกายสามารถสร้างเชื้อธรรมชาติในสำไส้ที่ช่วยให้กระบวนการย่อยดีขึ้น อีกทั้งยังเป็น ตัวต้านอนุมูลอิสระ และช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันแก่ร่างกาย (Tanasuoawat & Komagata, 1995; Chanchaichaovivat, 2010) สำหรับยีสต์ในข้าวหมากมีประโยชน์ในการสร้างผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดที่ส่งเสริมภูมิคุ้มกันในร่างกายมนุษย์ อาทิเช่น บีตากลูแคน เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่พบบริเวณโครงสร้างผนังเซลล์ยีสต์ ด้วยคุณสมบัติทางชีวเคมีของบีตากลูแคนที่สกัดจากยีสต์ บ่งชี้ว่าบีตากลูแคนมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ (อรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์ และคณะ, 2558; Chanchaichaovivat, 2010) มีงานวิจัยที่แสดงหลักฐานจากการทดสอบในระดับสัตว์ทดลองและในมนุษย์ที่แสดงให้เห็นว่าบีตากลูแคนจากยีสต์ สามารถลดอาการเจ็บป่วยได้หลายประการ ที่สำคัญได้แก่ ความสามารถในการลดปริมาณเซลล์มะเร็งและเนื้องอก ลดการติดเชื้อหลังการผ่าตัด ทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้น และลดอัตราการเพิ่มจำนวนของไวรัสในหมู (swine flu virus) (Demir et al., 2007; Hong et al., 2004) จึงมีแนวโน้มในการศึกษานำยีสต์มาใช้ป้องกันการติดเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ในอนาคต ใช้เป็นสารเพิ่มภูมิต้านทานให้กับมนุษย์ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของยีสต์บีตากลูแคนที่จะนำมาใช้เป็นอาหารเสริมภูมิคุ้มกันโรคและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมากมาย (Kogan et al., 2005)

งานวิจัยก่อนหน้านี้ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหมาก โดยพัฒนาจากการใช้ข้าวเหนียวขาว มาเป็น ข้าวเหนียวดำผสมกับข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงอัตราส่วน 1:1 ใช้เวลาหมัก 3-7 วัน พบว่า มีโปรตีน 3.6% มีไขมัน 0.16% มีความหวานอยู่ในช่วง 33-42 ºbrix มีแอลกอฮอล์อยู่ในช่วง 0.13-0.47% รวมทั้งยังมี แอนโทรไซยานินสูง และมีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่า 50%DPPH (อุไรวรรณ วัฒนกุล และคณะ, 2555) เช่นเดียวกันกับงานวิจัยที่ศึกษาข้าวหมากข้าวเหนียวขาวสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Salmonella typhi, Shigella* spp. ได้ รวมทั้งมีการวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่พบในลูกแป้งข้าวหมาก ส่วนใหญ่ เป็นยีสต์ *Candida parapsilosis, Candida quercitrusa* และ *Pichia kudriavzevii* รา *Rhizopus oryzae* และ *Mucor indicus* แบคทีเรีย *Pediococcus pentosaceus* (Chanchaichaovivat & Pasuk, 2013) ประเทศไทยมีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะเด่นในด้านคุณค่าทางโภชนาการ คือ ข้าวไรซ์เบอรี่ (*Oryza sativa*) เป็นข้าวที่เมล็ดมีสีม่วงเข้มคล้ายกับลูกเบอร์รี่ที่มีสีม่วงเข้ม มีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ผ่านการขัดสีเพียงแค่บางส่วนเท่านั้น

จึงยังทำให้คงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้อย่างครบถ้วน ข้าวสายพันธุ์นี้เมล็ดมีสีม่วงของแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารที่มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดี นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยศึกษาคุณค่าทางอาหารของข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระสูง โฟเลตสูง เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี วิตามินบี 1 ลูทีน แทนนิน สังกะสี โอเมกา 3 ธาตุเหล็ก โพลีฟีนอล เส้นใย และมีดัชนีน้ำตาลต่ำ ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีส่วนช่วยในการบำรุงร่างกาย บำรุงสายตา บำรุงระบบประสาท ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ช่วยป้องกันโรคต่างๆ ได้อย่างมากมาย อาทิโรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคสมองเสื่อม โรคโลหิตจาง ช่วยชะลอความแก่ได้ (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2566; ชื่นจิต สีพญา, 2558; ผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ, 2555; Suttiarporn et al., 2016)

ปัจจุบัน ข้าวหมากถึงแม้จะมีงานวิจัยมากมายที่ระบุถึงประโยชน์ต่อผู้บริโภค แต่ข้าวหมากก็ยังไม่เป็นที่นิยมในการบริโภคมากนัก มีผู้บริโภคแค่เพียงเฉพาะกลุ่ม ในขณะเดียวกันการพัฒนาข้าวหมากจากข้าวไรซ์เบอรี่ยังมีงานวิจัยอยู่น้อย รวมทั้งงานวิจัยที่ทำการศึกษายีสต์ในข้าวหมากต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทางเดินอาหารก็มีอยู่น้อยเช่นกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงทำการพัฒนาข้าวหมากจากข้าวไรซ์เบอรี่เปรียบเทียบกับข้าวหมากข้าวเหนียวขาว จากนั้นนำข้าวหมากมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณความหวาน (°brix) และปริมาณแอลกอฮอล์ ตรวจวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร ตรวจวิเคราะห์ฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay) ขั้นตอนต่อไปนำไอโซเลทยีสต์บริสุทธิ์ที่คัดแยกได้จากข้าวหมากแต่ละสูตรไปทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทางเดินอาหาร *E. coli* รวมทั้งทำการระบุบ่งชี้สายพันธุ์ยีสต์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทางเดินอาหารด้วยวิธีทางอณูโมเลกุล ผลการทดลองที่ได้จะเป็นข้อมูลในการพัฒนาคุณภาพและคุณค่าทางอาหารของข้าวหมากให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพทางเลือกสำหรับผู้บริโภค และสนับสนุนผลิตภัณฑ์ข้าวหมากอาหารหมักจากภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการทำข้าวหมาก

ข้าวหมากที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี 3 สูตร คือ 1) ข้าวหมากข้าวเหนียวขาว นำมาจากกลุ่มแม่บ้านชุมชนทับน้ำ-บ้านม้า อำเภอบางปะหัน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

2) ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวหมากข้าวเหนียวขาว อัตราส่วน 50:50 และ 3) ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ โดยขั้นตอนการทำข้าวหมากมีดังนี้ นำข้าวไรซ์เบอรี่หรือข้าวเหนียวขาว แช่น้ำดื่มสะอาดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวแต่ละสูตรมาล้างด้วยน้ำดื่มสะอาดอีก 1 ครั้ง แล้วจึงนำข้าวมานึ่งให้สุก จากนั้นนำข้าวนึ่งสุกมาพักไว้ให้เย็นบนภาชนะสะอาด ปิดด้วยผ้าขาวบางสะอาดที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ นำข้าวที่นึ่งสุกแต่ละสูตรมาผสมกับลูกแป้งข้าวหมากคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วทำการตักบรรจุลงในถ้วยพลาสติกสะอาด ปิดฝาให้มิดชิด หมักไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน ข้าวหมากแต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ถ้วย

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีในข้าวหมาก

นำข้าวหมากแต่ละสูตร มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°brix) ด้วยเครื่อง handheld refractometer และปริมาณแอลกอฮอล์ ด้วยเครื่อง Ebulliometer แต่ละชุดการทดลองทำการทดสอบ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 5 ของการหมักข้าวหมาก

การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารในข้าวหมาก

นำข้าวหมากแต่ละสูตร ที่หมักเป็นเวลา 3 วัน มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น ไขมัน เถ้า โปรตีน และใยอาหาร ดัดแปลงวิธีการของ AOAC (2016) และคาร์โบไฮเดรต พลังงาน ดัดแปลงวิธีการของ Sullivan & Carpenter (1993) แต่ละชุดการทดลองทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวหมาก

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ทำได้โดยนำข้าวหมากแต่ละสูตรที่หมักเป็นเวลา 3 วัน สูตรละ 5 กรัม มาบดหยาบ แล้วใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-ciocalteu phenol reagent เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรลงไป 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติม 2 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยมวลต่อปริมาตร ปิดปากหลอดด้วยพาราฟิล์ม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ (ดัดแปลงจาก Maikaeo et al., 2019) การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ นำข้าวหมากมาบดหยาบ สูตรละ 1 กรัม จากนั้นสกัดด้วยเอทานอล 5 มิลลิลิตร จากนั้น เตรียมหลอดทดลองเติมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) เข้มข้น 0.1 mM ใน

เอทานอลใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารสกัดข้าวหมากส่วนใสลงไป 100 µl ผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืด 30 นาที เปรียบเทียบกับสารละลาย DPPH ที่ไม่ใส่สารสกัดข้าวหมาก นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าที่ได้คำนวณร้อยละของความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) (ดัดแปลงจาก Mongkontanawat & Lertnimitmongkol, 2015)

การทดสอบความสามารถของยีสต์ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli*

นำไอโซเลทยีสต์บริสุทธิ์ที่คัดแยกได้จากข้าวหมากแต่ละสูตร มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ด้วยวิธีดัดแปลงจาก Kim et al. (2016) เริ่มจากเตรียมสารละลายแบคทีเรีย *E. coli* ในอาหารเหลว nutrient broth บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมเชื้อตั้งต้น $1x10^8$ CFU/ml ด้วยการเทียบมาตรฐาน McFarland standard No.0.5 แล้วนำไปเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหารแข็ง nutrient agar จากนั้นเจาะหลุมด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร สำหรับยีสต์บริสุทธิ์แต่ละโคโลนีที่คัดแยกได้จากข้าวหมากแต่ละสูตร สูตรละ 30 โคโลนี นำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว yeast peptone dextrose บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายใสใส่ลงในหลุมที่เจาะไว้ปริมาตร 60 ไมโครลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส (clear zone)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้ นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

การระบุบ่งชี้สายพันธุ์ยีสต์ในข้าวหมากที่มีความสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli*

นำยีสต์ที่มีความสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้ดีที่สุดที่ได้จากข้าวหมากทั้งหมด มา 2 โคโลนี ทำการระบุบ่งชี้สายพันธุ์ยีสต์โดยเริ่มต้นจากการสกัดดีเอ็นเอของยีสต์ตามวิธีการของ Tangsombatvichit et al. (2015) ทำการ purified ดีเอ็นเอของยีสต์ด้วย DNA purification kit (QIAGEN) แล้วนำไปตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง Nanodrop spectrophotometer (Thermo Scientific) จากนั้นนำดีเอ็นเอไปตรวจสอบบริเวณจำเพาะ

2 ตำแหน่ง คือ 1. บริเวณ Internal transcribed spacer (ITS region) ด้วยคู่ไพรเมอร์ ITS1 5’TCCGTAGGTGAACCTGCGG3’ และ ITS4 5’TCCTCCGCTTATTGATATGC3’ 2. บริเวณ 26S rRNA ด้วยคู่ไพรเมอร์ LR0R 5’ACCCGCTGAACTTAAGC3’ และ LR7 5’TACTACCAC CAAGATCT 3’ (Macrogen sequencing)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

คุณภาพทางเคมีในข้าวหมาก

เมื่อนำข้าวหมากแต่ละสูตร มาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ 0 ถึง 5 วัน ผลการทดลองพบว่า ที่ 0 วัน ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว (50:50) และ ข้าวหมากข้าวเหนียวขาว มีค่า pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.4-6.6 เมื่อกระบวนการหมักเกิดขึ้น ที่ 1 วัน พบว่า ข้าวหมากข้าวเหนียวขาวมีค่า pH เฉลี่ย เท่ากับ 3.3±0.1 ซึ่งลดลงกว่าข้าวหมากอีก 2 สูตร ที่ 2 วัน ข้าวหมากทั้ง 3 สูตร มีค่า pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.3-4.7 ที่ 3-5 วัน ข้าวหมากทั้ง 3 สูตร มีค่า pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.3-4.8 จะเห็นว่าเมื่อเกิดกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์จากลูกแป้ง เกิดการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล เปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ และเกิดกรด จากกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มราและยีสต์ ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลง เกิดความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Tanasuoawat & Komagata, 1995; Chanchaichaovivat, 2010; Manosroi et al., 2011) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mongkontanawat & Lertnimitmongkol (2015) ทำการพัฒนาข้าวหมากจากข้าวเหนียวดำ เมื่อวัดค่า pH พบว่า เมื่อกระบวนการหมักเกิดขึ้น ในวันที่ 1 ค่า pH เฉลี่ยลดลง และในวันที่ 2 ค่า pH เฉลี่ยเพิ่มขึ้น จากนั้นในวันที่ 3-7 ค่า pH เฉลี่ยคงที่

ทำการวัดปริมาณความหวาน (°brix) ของข้าวหมากทั้ง 3 สูตร ผลการทดลองพบว่าที่ 0 วัน ข้าวหมากทั้ง 3 สูตร มีค่าความหวานเฉลี่ย เท่ากับ 0 ที่ 1 วัน ข้าวหมากข้าวเหนียวขาวมีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 16.4±1.10% ซึ่งสูงกว่าข้าวหมากอีก 2 สูตร เมื่อกระบวนการหมักเกิดขึ้นในวันที่ 2-5 พบว่า ข้าวหมากข้าวเหนียวขาวมีค่าความหวานเฉลี่ยสูงที่สุด เมื่อเทียบกับข้าวหมากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว (50:50) และข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ในขณะที่ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ มีค่าความหวานเฉลี่ยในช่วง 16.9-18.1% ซึ่งต่ำที่สุด ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mongkontanawat & Lertnimitmongkol (2015) ทำการพัฒนาข้าวหมากจากข้าวเหนียวดำ พบว่า เมื่อเวลาใน

การหมักเพิ่มขึ้น °brix ของข้าวหมากเหนียวขาวมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าข้าวหมากข้าวเหนียวดำ เป็นไปได้ว่าโครงสร้างทางชีวเคมีของแป้งในข้าวไรซ์เบอรี่มีส่วนที่จุลินทรีย์ย่อยได้ยาก เมื่อเกิดกระบวนการหมักตามธรรมชาติ แป้งข้าวไรซ์เบอรี่จึงย่อยด้วยจุลินทรีย์กลุ่มราและยีสต์คล้ายราจากลูกแป้งได้ช้ากว่าข้าวเหนียวขาว และมีการวิจัยพบว่าข้าวไรซ์เบอรี่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2566; ชื่นจิต สีพญา, 2558; ผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ, 2555; Suttiarporn et al., 2016)

ทำการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของข้าวหมาก ผลการทดลองพบว่า ที่ 0 วัน ข้าวหมากทั้ง 3 สูตร มีปริมาณแอลกอฮอล์เฉลี่ย เท่ากับ 0 ที่ 1 วัน ข้าวหมากข้าวเหนียวขาวมีปริมาณแอลกอฮอล์เฉลี่ยเท่ากับ 0.39±0.04% ซึ่งสูงกว่าข้าวหมากอีก 2 สูตร เมื่อกระบวนการหมักเกิดขึ้นในวันที่ 2-5 พบว่า ข้าวหมากข้าวเหนียวขาวมีปริมาณแอลกอฮอล์เฉลี่ยสูงที่สุด เมื่อเทียบกับข้าวหมากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว (50:50) และข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ในขณะที่ข้าวหมากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว (50:50) มีปริมาณแอลกอฮอล์เฉลี่ยในช่วง 0.96-1.56% ส่วนข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ มีปริมาณแอลกอฮอล์เฉลี่ยในช่วง 0.48-1.37% ในการทดลองครั้งนี้ ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักข้าวหมากมีค่าสอดคล้องไปตามกิจกรรมของจุลินทรีย์ลูกแป้ง ตั้งแต่ค่า pH และปริมาณความหวาน (Manosroi et al., 2011)

คุณค่าทางอาหารในข้าวหมาก

นำข้าวหมากแต่ละสูตรมาวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร ผลการทดลองพบว่า ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่มีโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวหมากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว (50:50) และข้าวหมากข้าวเหนียวขาว เท่ากับ 6.33±0.09 5.65±0.10 และ 4.57±0.08 กรัม/100กรัม ตามลำดับ รวมทั้งใยอาหาร ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่มีใยอาหารสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวหมากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว (50:50) และข้าวหมากข้าวเหนียวขาว เท่ากับ 5.24±0.06 3.82±0.04 และ 1.22±0.05 กรัม/100กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารในข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 และข้าวหมากข้าวเหนียวขาว หมักเป็นเวลา 3 วัน

คุณค่าทางอาหาร	ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่	ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50	ข้าวหมากข้าวเหนียวขาว	ข้าวหมากข้าวเหนียวดำ**
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	0.84^{a*}±0.04	0.78^{a}±0.06	0.13^{b}±0.01	0.29±0.49
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	52.18^{b}±0.45	55.22^{b}±0.47	59.00^{a}±0.61	55.86±0.50
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	6.33^{a}±0.09	5.65^{b}±0.10	4.57^{c}±0.08	3.11±0.50
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)	39.56^{a}±0.69	36.18^{b}±0.26	35.92^{b}±0.97	38.80±0.50
ไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.86^{a}±0.04	0.64^{b}±0.10	0.39^{c}±0.02	0.35±0.48
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี่/100 กรัม)	8.24^{a}±0.23	6.88^{b}±0.15	3.51^{c}±0.05	ไม่มีผลการตรวจ
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี่/100 กรัม)	184.72^{a}±1.57	171.33^{b}±1.14	165.05^{b}±1.44	ไม่มีผลการตรวจ
ใยอาหาร (กรัม/100 กรัม)	5.24^{a}±0.06	3.82^{b}±0.04	1.22^{c}±0.05	1.59±0.25

หมายเหตุ ตัวเลขในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

*abc แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

**อ้างอิงผลการทดลองจากงานวิจัยของ Mongkontanawat and Lertnimitmongkol, 2015

มีงานวิจัยของ Mongkontanawat & Lertnimitmongkol (2015) ทำการพัฒนาข้าวหมากจากข้าวเหนียวดำ ที่หมักเป็นเวลา 3 วัน และวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร พบว่ามีโปรตีน เท่ากับ 3.11±0.50 กรัม/100กรัม และมีใยอาหาร เท่ากับ 1.59±0.25 กรัม/100 กรัม รวมทั้งงานวิจัยของ อุไรวรรณ วัฒนกุล และคณะ (2555) ทำการพัฒนาข้าวหมากจากข้าวสังข์หยดพัทลุงและข้าวเหนียวดำ หมักที่ 3 วัน และวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร พบว่ามีโปรตีน เท่ากับ 3.5±0.03% และ 4.4±0.02% จะเห็นได้ว่า ข้าวหมากจากข้าวไรซ์เบอรี่และข้าวหมากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว (50:50) ในการทดลองนี้ มีโปรตีนและใยอาหารสูงกว่า ข้าวหมากข้าวเหนียวดำ หรือข้าวหมากข้าวสังข์หยดพัทลุง

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวหมาก

เมื่อนำข้าวหมากแต่ละสูตรมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองพบว่า ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ที่หมักเป็นเวลา 3 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเฉลี่ย และสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเท่ากับ

71.10± 0.25 mg GEA/100กรัม และ 194.60±3.10 µmol/100กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2) รองลงมาคือ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 และข้าวหมากข้าวเหนียวขาวมีน้อยที่สุด ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 และข้าวหมากข้าวเหนียวขาวหมักเป็นเวลา 3 วัน

การวิเคราะห์ตัวอย่าง	ข้าวหมาก ข้าวไรซ์เบอรี่	ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50	ข้าวหมาก ข้าวเหนียวขาว
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GEA/100กรัม)	71.10^{a*} ±0.25	59.40^{b} ±0.21	36.70^{c} ±0.30
สารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay) µmol/100กรัม	194.60^{a} ±3.10	143.00^{b} ±1.10	41.20^{c} ±0.80

หมายเหตุ ตัวเลขในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

*****abc แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระเฉลี่ยของข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระเฉลี่ย เท่ากับ 87.56% รองมาคือ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 เท่ากับ 52.33% และ ข้าวหมากข้าวเหนียวขาว เท่ากับ 24.15% อธิบายได้จากคุณสมบัติของข้าวไรซ์เบอรี่ ที่เป็นพันธุ์ข้าวไทยที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้มีคุณค่าทางอาหารสูง มีสารต้านอนุมูลอิสระและเส้นใยสูง รวมทั้งมีสารอาหารและวิตามินสูง (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2566; ชื่นจิต สีพญา, 2558; ผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ, 2555; Suttiarporn et al., 2016; Wattanuruk et al., 2020)

การทดสอบความสามารถของยีสต์ข้าวหมากต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli*

เมื่อนำไอโซเลทยีสต์ที่ได้จากข้าวหมากแต่ละสูตรมาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ผลการทดลองพบว่า ไอโซเลทยีสต์ที่มีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทางเดินอาหารได้ พิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 8.00±0.10 ถึง 11.67±0.11 มิลลิเมตร (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของยีสต์ที่คัดแยกได้จากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 และข้าวหมากข้าวเหนียวขาว ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli*

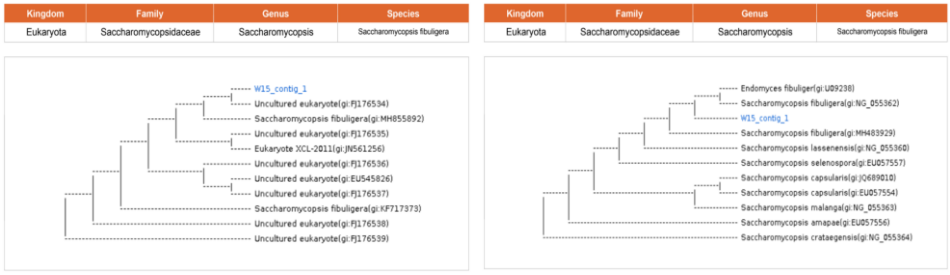
ข้าวหมาก ข้าวไรซ์เบอรี่		ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสม ข้าวเหนียวขาว 50:50		ข้าวหมาก ข้าวเหนียวขาว	
ไอโซเลทยีสต์	Inhibition zone (mm±SD)	ไอโซเลทยีสต์	Inhibition zone (mm±SD)	ไอโซเลทยีสต์	Inhibition zone (mm±SD)
B1	9.80^{a*}±0.20	BW5	9.30^{a}±0.00	W11	8.20^{c}±0.00
B2	7.70^{b}±0.00	BW8	8.70^{b}±0.30	W13	8.17^{c}±0.15
B31	8.40^{b}±0.00	BW16	7.50^{c}±0.10	W14	11.10^{a}±0.65
B37	8.00^{b}±0.10	BW20	8.90^{b}±0.20	W15	11.67^{a}±0.11
B42	8.70^{b}±0.30	BW21	8.50^{b}±0.30	W16	9.30^{b}±0.17
B45	9.10^{a}±0.15	BW24	8.30^{b}±0.25	W19	11.07^{a}±0.11

หมายเหตุ *abc แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

โดยไอโซเลทยีสต์จากข้าวหมากข้าวเหนียวขาวสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีอันดับ 1 โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 11.67±0.11 มิลลิเมตร สำหรับไอโซเลทยีสต์จากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส เท่ากับ 9.80±0.20 มิลลิเมตร ในขณะที่ ไอโซเลทยีสต์จากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส เท่ากับ 9.30 มิลลิเมตร (ตารางที่ 3) ในขณะที่มีงานวิจัยของ เจนจิรา เตชรักษา และ ดวงเดือน วัฏฏานุรักษ์. (2564) ทำการศึกษาสารสกัดข้าวหมากจากข้าวมีสีต่อการยับยั้งแบคทีเรียแล้วพบว่าข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus* และ *Bacillus subtilis* ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใส ระหว่าง 7.25 ถึง 8.90 มิลลิเมตร เป็นไปได้ว่าสารสกัดที่ได้จากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่น่าจะมีสารชีวภาพจากจุลินทรีย์ในข้าวหมาก จึงทำให้สารสกัดข้าวหมากสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้ดี

การระบุบ่งชี้สายพันธุ์ยีสต์ในข้าวหมากที่มีความสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli*

จากการทดสอบความสามารถของยีสต์บริสุทธิ์ที่คัดแยกได้จากข้าวหมากแต่ละสูตรที่มีความสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้ดีที่สุด พบว่า ยีสต์จากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ คือไอโซเลท B1 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* เท่ากับ 9.80±0.20 มิลลิเมตร ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 คือไอโซเลท BW 5 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* เท่ากับ 9.3±0.00 มิลลิเมตร และยีสต์จากข้าวหมากข้าวเหนียวขาว คือไอโซเลท W15 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* เท่ากับ 11.67±0.11 มิลลิเมตร จากนั้นเลือกนำยีสต์ไอโซเลท B1 และ W15 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ดีที่สุด มาตรวจสอบการระบุบ่งชี้ระดับพันธุกรรมของยีสต์ด้วยวิธีการ sequencing บริเวณตำแหน่งจำเพาะ 2 บริเวณ คือ Internal transcribed spacer (ITS region) และบริเวณ 26S rRNA ผลการทดสอบพบว่า บริเวณตำแหน่งจำเพาะทั้ง 2 บริเวณระบุบ่งชี้ว่า ยีสต์ไอโซเลท B1 คือ *Saccharomycopsis fibuligera* เช่นเดียวกันกับยีสต์ไอโซเลท W15 (รูปที่ 1 ก และ ข) เนื่องจากค่าความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของลำดับเบสของยีสต์ไอโซเลททั้ง 2 ตรงกับ *S. fibuligera* 100% โดยยีสต์ *S. fibuligera* เป็นยีสต์ที่พบในลูกแป้งข้าวหมาก มีความสามารถย่อยแป้งไปเป็นน้ำตาลได้ (Limtong et.al., 2002; Limtong et.al., 2005)



ก ข

รูปที่ 1 ก. การระบุบ่งชี้พันธุกรรมของตัวอย่างยีสต์ไอโซเลท W15 บริเวณจำเพาะ ITS region และ ข. การระบุบ่งชี้พันธุกรรมของตัวอย่างยีสต์ไอโซเลท W15 บริเวณจำเพาะ 26sRNA

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาข้าวหมากซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากภูมิปัญญาไทย โดยกำหนดข้าวหมาก 3 สูตร คือ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 และข้าวหมากข้าวเหนียวขาว จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ข้าวหมากทั้ง 3 สูตร มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย (pH) เริ่มต้นประมาณ 6.5 และลดลงเมื่อเกิดกระบวนการหมัก จากนั้นคงที่ในช่วง 4.3-4.8 ในขณะที่ ค่า °brix เพิ่มขึ้นเมื่อกระบวนการหมักผ่านไปในแต่ละวันที่ทำการทดลอง โดยระยะเวลาหมักวันที่ 5 ข้าวหมากข้าวเหนียวขาว มีค่าความหวานเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 36.2±0.5% ส่วนข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ต่ำที่สุด เท่ากับ 18.1±0.2% สำหรับค่าปริมาณแอลกอฮอล์เฉลี่ย มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระบวนการหมักเกิดขึ้นกับข้าวหมากทั้ง 3 สูตร โดยข้าวหมากข้าวเหนียวขาว มีค่าปริมาณแอลกอฮอล์เฉลี่ยสูงที่สุดประมาณ 2.5% ส่วนข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ต่ำที่สุดประมาณ 1.3% จากการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าข้าวหมากที่พัฒนาจากข้าวไรซ์เบอรี่มีโปรตีนและใยอาหารสูงที่สุด เท่ากับ 6.33±0.09 และ 5.24±0.06 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับข้าวหมากอีก 2 สูตรคือ ข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมข้าวเหนียวขาว 50:50 และข้าวหมากข้าวเหนียวขาว รวมทั้งข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 71.10±0.25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 194.60±3.10 µmol ต่อ 100 กรัม และมีความสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระดีที่สุด เท่ากับ 87.56% ในขณะที่ข้าวหมากทั้ง 3 สูตรสามารถตรวจพบยีสต์ที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ผลการทดลองพบว่า ยีสต์ไอโซเลทจากข้าวหมากข้าวเหนียวขาว (W15) และ ยีสต์ไอโซเลทจากข้าวหมากข้าวไรซ์เบอรี่ (B1) มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส เท่ากับ 11.67±0.11 และ 9.80±0.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อระบุบ่งชี้สายพันธุ์ยีสต์ในข้าวหมากระดับพันธุกรรมของยีสต์ด้วยวิธีการ sequencing บริเวณตำแหน่งจำเพาะ 2 บริเวณ คือ Internal transcribed spacer (ITS region) และบริเวณ 26S rRNA พบว่า ยีสต์ไอโซเลท W15 และ B1 คือ *Saccharomycopsis fibuligera* เช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มทร.สุวรรณภูมิ ประจำปีงบประมาณ 2563 ขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ที่เอื้ออำนวยความ

สะดวกสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ในการวิจัยทดลองในครั้งนี้ ขอบคุณนายกองค์การบริหารส่วนตำบลทับน้ำ-บ้านม้า อำเภอบางปะหัน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่สนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากภูมิปัญญาท้องถิ่น และกลุ่มแม่บ้านชุมชนทับน้ำ-บ้านม้า ที่แนะนำและช่วยเหลือการทำข้าวหมาก

เอกสารอ้างอิง

เจนจิรา เดชรักษา และ ดวงเดือน วัฏฏานุรักษ์. (2564). การยับยั้งแบคทีเรียจากสารสกัดข้าวหมากมีสี. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2*(3), 92-105.

ชื่นจิต สีพญา. (2558). *ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวดี มีประโยชน์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 มิถุนายน 2562, จาก http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/bsti_11_2558_Riceberry.pdf.

ผาณิต รุจิรพิสิฐ, วิชชุดา สังข์แก้ว และ เสาวนีย์ เอี้ยวสกุลรัตน์. (2555). คุณค่าทางโภชนาการของข้าว 9 สายพันธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43* (ฉบับพิเศษ 2), 173-176.

ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2566). *ข้าวไรซ์เบอรี่ Riceberry*. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2564, จาก: https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/research-develop/rice-breeding-lab/riceberry-variety.

อรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์, สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ และ เกร็ดแก้ว มุขแสง. (2558). การวิเคราะห์และเปรียบเทียบยีสต์บีตากลูแคนจากลูกแป้งข้าวหมากในภาคกลางของประเทศไทย. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 6*(2), 188-197.

อุไรวรรณ วัฒนกุล, ชุตินุช สุจริต และ นพรัตน์ วงศ์หิรัญเดชา. (2555). *คุณค่าทางโภชนาการบางประการในข้าวหมากที่ผลิตจากข้าวสังข์หยดพัทลุง*. น. 721-729. ใน: การประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 9. 6-7 ธันวาคม 2555. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

AOAC. (2016). *Official methods of analysis*. Maryland, USA: AOAC International.

Chachaichaovivat, A. (2010). Yeast betaglucan: Food supplement for immune system. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning, 1*(2), 113–118. (in Thai)

Chanchaichaovivat, A., & Pasuk, A. (2013). Inhibitory Effect of Fermented Glutinous Rice on Enteropathogenic Bacteria. *The Journal of Interdisciplinary Networks, 2*(2), 30-36.

Demir, G., Klein, H. O., Mandel-Molinas, N., & Tuzuner, N. (2007). Beta glucan induces proliferation and activation of monocytes in peripheral blood of patients with ad-vanced breast cancer. *International immunopharmacology, 7*(1), 113–116.

Hong, F., Yan, J., Baran, J. T., Allendorf, D. J., Hansen, R. D., Ostroff, G R., Xing, P. X., Cheung, N. K., & Ross, G. D. (2004). Mechanism by which orally administered β-1,3-glucans enhance the tumoricidal activity of antitumor monoclonal antibodies in murine tumor models. *Journal of Immunology, 173*(2), 797–806.

Kim, D. H., Jeong, D., Kim, H., Kang, I. B., Chon, J. W., Song, K. Y., & Seo, K. H. (2016). Antimicrobial activity of kefir against various food pathogens and spoilage bacteria. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 36*(6), 787-790.

Kogan, G., Stasko, A., Bauerova, K., Polovka, M., Soltes, L., Brezova, V., & Navarova, J. (2005). Antioxidant properties of yeast (1,3)-β-D-glucan studied by electron paramagnetic resonance spectroscopy and its activity in the adjuvant arthritis. *Carbohydrate Polymers*, *61*(1), 18–28.

Limtong, S., Sintara, S., Suwanarit, P., & Lotong, N. (2002). Yeast diversity in Thai traditional fermentation starter (loog-pang). *Kasetsart Journal Natural Science*, 36, 149-158.

Limtong, S., Sintara, S., Suwanarit, P., & Lotong, N. (2005). Species diversity of molds in Thai traditional fermentation starters (Long-pang). *Kasetsart Journal Natural Science*, 39, 511-518.

Maikaeo, L., Sajjabut, S., & Thepthong, P. (2019). Total Phenolic Content, Antioxidant and Antiproliferative Activities of Methanolic Extract from Flowers, Twigs and Peels of *Mammea siamensis*. *Thai Journal of Pharmacology, 41*(1), 5-12.

Manosroi, A., Ruksiriwanich, W., Kietthankorn, B., Manosroi, W., & Manosroi, J. (2011). Relationship between biological activities and bioactive compounds in the fermented rice sap. *Food Research International*, 44, 2757–2765.

Mongkontanawat, N., & Lertnimitmongkol, W. (2015). Product development of sweet fermented rice (Khao-Mak) from germinated native black glutinous rice. *Journal of Agricultural Technology, 11*(2), 501-515.

Sullivan, D., & Carpenter, D. (1993) *Method of Analysis for Nutrition Labeling*. AOAC International, Arlington.

Suttiarporn, P., Sookwong, P., & Mahatheeranont, S. (2016). Fractionation and identification of antioxidant compounds from bran of Thai Black Rice cv. Riceberry. *International Journal of Chemical Engineering and Applications, 7*(2), 109-114.

Tangsombatvichit, P., Semkiv, M.V., Sibirny, A.A., Jensen, L.T., Ratanakhanokchai, K., & Soontorngun, N. (2015). Zinc cluster protein Znf1, a novel transcription factor of non-fermentative metabolism in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Yeast Research, 15*(2), Doi: 10.1093/femsyr/fou002.

Tanasuoawat, S., & Komagata, K. (1995). Lactic acid bacteria in fermented foods in Thailand. *World Journal of Microbiology and Biotechnology,* 11, 253-256.

Wattanuruk, D., Phasuk, S., Nilsang, P., & Takolpuckdee, P. (2020). Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activities of Khaow-Mak extracts from various colored rice. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science, 13*(1), 10-18.

ความชุกและปัจจัยของการติดพยาธิในเลือดในโคนมพื้นที่สหกรณ์โคนวาริชภูมิ จำกัด

THE PREVALENCE AND FACTORS OF BLOOD PARASITE INFECTION IN DAIRY COW IN WARITCHAPHUM DAIRY COOPERATIVE LTD. AREA

ธีระกุล นิลนนท์* และ ปราณปรียา ทอดทอง
Theerakul Nilnont* and Pranpreya Todtong

สาขาวิชาเทคนิคการสัตวแพทย์และการพยาบาลสัตว์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
Program in Veterinary technology and veterinary nursing, Faculty of technology,
Udon Thani Rajabhat University

Received: 10 July 2023 Revised: 15 December 2023 Accepted: 25 December 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกและปัจจัยของการติดพยาธิในเลือด รวมถึงตรวจประเมินค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นในโคนม ออกแบบการศึกษาด้วยวิธีการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (cross sectional study) สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดโคนม จำนวน 275 ตัว จากทั้งหมด 55 ฟาร์ม ในพื้นที่สหกรณ์โคนมวาริชภูมิ จำกัด อำเภอวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ตรวจหาการติดพยาธิในเลือดด้วยวิธีทำฟิล์มเลือดบาง (Thin blood smear) ย้อมสีด้วย Giemsa-stained หาค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (packed cell volume; PCV) ด้วยวิธี Hematocrit centrifugation technique ผลการศึกษา พบโคติดพยาธิในเม็ดเลือดจำนวน 107 ตัว (38.90%) แบ่งเป็น *Anaplasma spp* 75 ตัว คิดเป็น (79.09%) จำแนกเป็น *A. marginale* 40 ตัว คิดเป็น (53.33%), *A. centrale* 35 ตัว (46.67%) *Babesia spp* 32 ตัว (29.90%) ได้แก่ *B. bigemina* และพบการติดพยาธิมากกว่า 1 ชนิด จำนวน 12 ตัว คิดเป็น (11.21%) โดยไม่พบการติดพยาธิชนิด *Trypanosome spp , Theileria spp.* โคที่ติดพยาธิในเลือดจำนวน 107 ตัว พบค่า PCV อยู่ในช่วง 16% - 35% และมีค่าเฉลี่ยของ PCV เท่ากับ 27.07% โดยโคกลุ่มติดเชื้อ

* Corresponding author: ธีระกุล นิลนนท์
E-mail: theerakul_nil@yahoo.com

ที่มีค่า PCV ต่ำกว่าค่าปกติ จำนวน 13 ตัว (12.15%) ฟาร์มที่เคยมีประวัติติดโรคพยาธิในเลือดมีความเสี่ยงติดพยาธิในเลือดซ้ำ 5.02 เท่า (OR = 5.02) เมื่อเทียบกับฟาร์มที่ไม่เคยมีประวัติการติดพยาธิในเลือด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05) การศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ว่าสถานการณ์การติดพยาธิในเลือดในโคนม ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 มีความชุกระดับปานกลางและก่อให้เกิดภาวะโลหิตจางในปานกลาง

คำสำคัญ: ความชุก, ปัจจัย, พยาธิในเลือด, โคนม

Abstract

The aims of this study were to examine the prevalence and risk factors of blood parasite infection and evaluate packed cell volume (PCV) in dairy cows. Cross sectional study was conducted to randomly blood sample collection from 275 dairy cows from 55 farms in the area of Waritchaphum Dairy Cooperative, Waritchaphum District, Sakon Nakhon Province. Blood parasite was investigated by thin blood smear examination with Giemsa-satain technique including the hematocrit centrifugation technique was conducted to evaluate PCV. The results found 107 (38.90%) dairy cows infected with blood parasite. Genus *Anaplasma spp* was infected in 75 cows and divided into two species such as *A. marginale* (53.33%) and *A. centrale* (46.67%) and another 32 cows were infected with *Babesia bigemina* (29.90%). In the group of 107 infected cows blood parasite mixed infection was found in 12 cows (11.21%), however there was not found *Trypanosome spp. and Theileria spp.* infection in this study. The percentage of PCV of the blood parasite infected group ranged between 16% - 35% with an average PCV 27.07% with 13 of 107 infected cows (12.15%) had lower PCV than the normal range. The dairy farms which had been exposed to blood parasites in the dairy population had 5.02 times re-infection compared to unexposed farm (P < 0.05). This study defined

the moderate blood parasite infection and anemia in the dairy cows of Waritchaphum Dairy Cooperative Ltd., between September 2020 to March 2021.

Keywords: prevalence, factors, blood parasite, dairy cow

บทนำ

พื้นที่เลี้ยงโคนมอำเภอวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร มีฝูงแม่โคประมาณ 1,800 ตัว และเป็นฝูงโคสาวทดแทนประมาณ 1,700 ตัว รวม 3,500 ตัว มีผลผลิตน้ำนมประมาณวันละ 23 ตันต่อวัน โดยที่ผ่านมาพบว่าโรคพยาธิเม็ดเลือดในโคนมยังคงเป็นปัญหาในพื้นที่ ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และผลผลิตเป็นอย่างมาก สาเหตุของโรคพยาธิเม็ดเลือดในโคนมที่เกิดจากเชื้อริกเก็ตเชีย (rickettsia) คือโรค Anaplasmosis สาเหตุจากเชื้อ 2 ชนิดคือ *Anaplasma marginale* และ *Anaplasma centrale* เป็นพยาธิที่อยู่ในในเม็ดเลือดแดง มีพาหะคือ เห็บเหลือบ แมลงวันคอก เชื้อชนิดนี้ทำให้มีการทำลายเม็ดเลือดแดงอย่างรุนแรง ผลคือทำให้สัตว์มีไข้สูง โลหิตจาง ดีซ่าน แท้ง น้ำนมลด ส่วนโรคพยาธิเม็ดเลือดในโคนมที่เกิดจากเชื้อโปรโตซัว (protozoa) ได้แก่ โรค Babesiosis เกิดจากเชื้อ *Babesia bigemina* และ *Babesia bovis* มีพาหะคือ เห็บโค เป็นพยาธิในเม็ดเลือดแดงชนิดที่ทำให้เม็ดเลือดแดงแตก สัตว์ที่ติดเชื้อจะมีไข้สูง โลหิตจาง ปัสสาวะออกมาเป็นสีน้ำตาลแดง ดีซ่าน น้ำนมลด สัตว์ที่ท้องอาจจะแท้ง อัตราการตายปานกลาง มีอาการทางประสาท ในรายเฉียบพลันมักถึงตายได้ โรค Trypanosomasis เกิดจากโปรโตซัว *Trypanosoma evansi* เป็นพยาธิที่อยู่ในกระแสเลือด ลำตัวเรียวยาว มีพาหะนำโรคที่สำคัญคือ เหลือบและแมลงวันคอก มักพบในฤดูฝน สัตว์แสดงอาการ สัตว์มีไข้ขึ้นๆ ลงๆ เบื่ออาหาร เยื่อเมือกซีด ซูบผอม เชื้อสามารถผ่านทางรกไปยังลูกได้ จึงทำให้สัตว์มักจะแท้งช่วงระยะท้ายๆ บางตัวบวมน้ำโดยเฉพาะใต้คางหรือแผงใต้คอ มักพบอาการแบบเรื้อรัง (กนกวรรณ สิงห์อาสา และคณะ, 2563) ดังนั้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความชุกของพยาธิในเลือดโคนมในพื้นที่ และชนิดของพยาธิในเลือด และเพื่อประเมินสภาวะทางโลหิตวิทยาของโคนมและปัจจัยเสี่ยงต่อการติดเชื้อ ในพื้นที่ อ.วาริชภูมิ จ.สกลนคร สุดท้ายเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนป้องกันและแก้ปัญหาต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

แผนการวิจัยและกลุ่มตัวอย่าง

ทำการศึกษาความชุกของพยาธิในเลือดของโคนมด้วย วิธี cross sectional study ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 โดยการสำรวจประชากรโคนมในพื้นที่สหกรณ์โคนมวาริชภูมิ จำกัด อำเภอวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร คำนวณจำนวนตัวอย่างโคนมโดยใช้โปรแกรม Epi Info™ version 2022 โดยใช้ข้อมูลจำนวนประชากรโคนมทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาวิจัย 3,500 ตัว ความชุกอ้างอิง เท่ากับ 68.7% (มาณวิกา ผลภาค และสาทิส ผลภาค, 2556) ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจากโคนมอายุมากกว่า 1 ปี (Simking et al., 2014) จากทุกฟาร์มในพื้นที่จำนวน 55 ฟาร์ม

การเก็บตัวอย่าง

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเลือดโคนม โดยการเจาะเลือดที่ตำแหน่งโคนหาง (coccygea lvein) ปริมาณ 3-5 มิลลิลิตร ใส่หลอดเก็บเลือดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดชนิด Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) จากนั้นใส่ในถุงซิบล็อกโดยเขียนชื่อโคหมายเลขฟาร์ม พร้อมนำตัวอย่างไปใส่ในกล่องโฟมที่มีน้ำแข็งตลอดระยะเวลาการขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการ

การตรวจหาพยาธิเม็ดเลือดในโคนม

ตรวจหาพยาธิเม็ดเลือดโดยการทำฟิล์มเลือดบาง (Thin blood smear) และย้อมสียีมซ่า (Giemsa-stained) และนำไปส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า และทำการวิเคราะห์ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (packed cell volume; PCV) ตัวอย่างเลือดด้วยวิธี hematocrit centrifugation technique (กนกวรรณ สิงห์อาสา และคณะ, 2563) (Tabor, 2022)

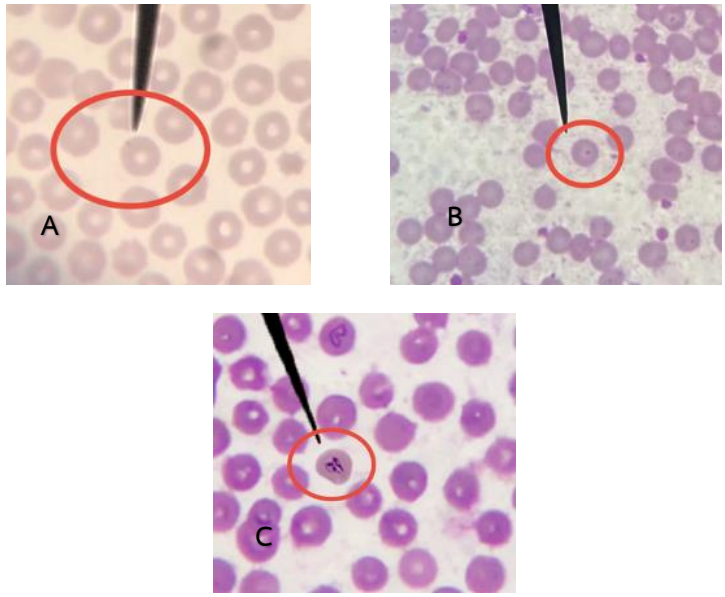
การวิเคราะห์ทางสถิติและการรายงานผลการวิจัย

รายงานความชุกของการติดพยาธิในเลือดโคนมในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา (period prevalence) และชนิดของพยาธิในเลือดที่พบโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) วิเคราะห์หาปัจจัยเสี่ยงของการติดเชื้อพยาธิในเลือดโดยใช้สถิติวิเคราะห์ binary logistic regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ p-value < 0.05 โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 26.0.0.1

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ความชุกของการติดพยาธิในเลือด และค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ในโคนม

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างเลือดโคนม จำนวน 275 ตัวอย่าง จาก 55 ฟาร์ม พื้นที่สหกรณ์โคนมวาริชภูมิ จำกัด อำเภอวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 พบโคนมติดพยาธิในเลือด จำนวน 107 ตัว คิดเป็นความชุก เท่ากับ 38.90% โดยในจำนวนโคนม 107 ตัวที่ติดพยาธิในเลือด พบชนิดของพยาธิในเม็ดเลือด 2 ชนิด ได้แก่ *Anaplasma spp.* และ *Babesia spp.* ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เชื้อพยาธิในเม็ดเลือด *A. marginale* (A), *A. centrale* (B) และ *B. bigemina* (C)

โดยมีโคนมติดพยาธิในเลือด *Anaplasma spp.* จำนวน 75 ตัว คิดเป็น 70.09% และมีโคนมติดพยาธิในเม็ดเลือด *Babesia spp.* 32 ตัว คิดเป็น 29.90% โดยพยาธิในเม็ดเลือดประเภท (genus) *Anaplasma spp.* พบ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *A. marginale* จำนวน 40 ตัว คิดเป็น 37.38% และ *A. centrale* จำนวน 35 ตัว คิดเป็น 32.71% ส่วนพยาธิในเม็ดเลือดประเภท *Babesia spp.* พบ 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. bigemina* จำนวน 32 ตัว คิดเป็น 29.90% และมีโคนมที่ติดพยาธิในเม็ดเลือดมากกว่า 1 สายพันธุ์ จำนวน 12 ตัว คิดเป็น 18.01% ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความชุกของการติดพยาธิในเม็ดเลือด และชนิดของพยาธิในเม็ดเลือดที่พบในโคนมพื้นที่สหกรณ์โคนมวาริชภูมิ จำกัด

จำนวนโคติดพยาธิในเลือด	*Anaplasma spp.*		*Babesia spp.*	จำนวนโคติดพยาธิในเลือดมากกว่า 1 ชนิด
	A. marginale	*A. centrale*	*B. bigemina*	
107 (38.90%)	40 (37.38%)	35(32.71%)	32 (29.90%)	12 (18.01%)
รวม	75 (70.10%)		32 (29.90%)	

ผลการศึกษาความชุกของการติดพยาธิในโคนมในพื้นที่ อ.วาริชภูมิ จ.สกลนคร สอดคล้องกับ กนกวรรณ สิงห์อาสา และคณะ (2563) ซึ่งทำการศึกษาความชุกและปัจจัยเสี่ยงของการติดพยาธิในเลือดในแพะเนื้อ และ โคเนื้อในพื้นที่เขตชายแดนไทย-กัมพูชา ซึ่งพบอัตราความชุกของ *Anaplasma spp.* คิดเป็น 8.43% และ *Babesia spp.* 1.20% ตัวอย่างงานวิจัยนี้พบโคติดพยาธิเม็ดเลือดมากที่สุดในช่วงปลายฤดูฝนช่วงเดือน กันยายน - ตุลาคม ซึ่งสอดคล้องกับ รุริรัตน์ วรสิงห์ และ สุธี รัตนะ (2548) และ Simking et al. (2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาความชุกของปรสิตในทางเดินอาหารและในเลือดโคที่ตรวจพบในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดกาญจนบุรี ตามลำดับ โดยช่วงหน้าฝนมีสภาพอากาศเหมาะสมทำให้แมลงดูดเลือดที่เป็นพาหะมีการแพร่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจึงทำให้มีอัตราการติดพยาธิมากกว่าช่วงอื่นๆ อย่างไรก็ตาม แมลงดูดเลือดที่เป็นพาหะของโรคพยาธิในเลือดในโคจะระบาดมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน (Fadly, 2012) แต่ด้วยสภาพอากาศประเทศไทยปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นตามฤดูกาล จึงสามารถพบแมลงพาหะที่ก่อโรคนี้ได้ทุกฤดูกาล (กนกวรรณ สิงห์อาสา และคณะ, 2563)

ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นของกลุ่มตัวอย่าง

ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (packed cell volume; %PCV) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเลือดโคนมด้วยวิธี hematocrit centrifugation technique พบว่า โคที่ไม่ติดพยาธิในเลือด มีค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่นอยู่ในช่วงค่าปกติ (PCV) = 24% – 46% (Fielder, 2022) ส่วนโคที่ติดพยาธิในเลือดจำนวน 107 ตัว พบค่า PCV อยู่ในช่วง 16% - 35% (ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุด) โดยมีค่าเฉลี่ยของ PCV เท่ากับ 27.07% ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า PCV ในการศึกษานี้พบว่า โคนมที่ติดพยาธิในเลือดมีความรุนแรงของระดับภาวะโลหิตจางระดับปานกลาง

หรืออาจเกิดจากการติดเชื้อระยะแรกหรือมีพยาธิในเลือดปริมาณน้อยจึงทำให้เกิดการแตกทำลายเม็ดเลือดแดงอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งการติดพยาธิเม็ดเลือดในโคจะมีเปอร์เซ็นต์ค่า PCV ต่ำกว่า 25% และจะแสดงอาการโลหิตจาง (anemia) (กนกวรรณ สิงห์อาสา และคณะ, 2563) (Mamoudou et al., 2015)

ปัจจัยเสี่ยงของการติดพยาธิในเลือดในโคม

ทำการเก็บข้อมูลปัจจัยเสี่ยงที่คาดว่าเกี่ยวข้องกับการติดพยาธิในเลือดจากฟาร์มโคนมที่เก็บตัวอย่างเลือด ได้แก่ ประวัติการเคยติดพยาธิในเลือด (exposure blood parasite; EXP.BP) (เคย/ไม่เคย) การพบพยาธิภายนอกในโคนมในฟาร์ม (ectoparasite; ECT.P) (พบ/ไม่พบ) วิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการติดพยาธิในเลือดโดยใช้สถิติวิเคราะห์ binary logistic regression ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยเสี่ยงต่อการติดพยาธิในเลือดในโคนม พื้นที่สหกรณ์โคนมวาริชภูมิ จำกัด

ปัจจัยเสี่ยง	Coefficient	P-value	Odds ratio (95% CI)
เคยมีประวัติติดโรคพยาธิในเลือดในโคนม	1.614	0.000	5.02
การพบพยาธิภายนอกในโคนม	-.176	0.778	0.839

จากตารางที่ 2 พบว่า ฟาร์มที่เคยมีประวัติติดโรคพยาธิในเลือดในโคนมจะมีความเสี่ยงต่อการติดพยาธิในเลือดซ้ำ 5.02 เท่า (OR = 5.02) เมื่อเทียบกับฟาร์มที่ไม่เคยมีประวัติการติดพยาธิในเลือด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนปัจจัยการพบพยาธิภายนอกในโคนม พบว่า ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งจากการศึกษาปัจจัยเสี่ยงของการติดพยาธิในเลือดในโคที่ผ่านมา พบว่า ในพื้นที่ที่มีการติดพยาธิในเลือดเป็นโรคประจำถิ่น (endemic area) โคอายุน้อยจะมีความเสี่ยงต่อการติดพยาธิในเลือดมากกว่าโคอายุมาก เนื่องจากโคอายุมากในพื้นที่โรคประจำถิ่นมีโอกาสสัมผัสกับเชื้อพยาธิในเลือดในระดับต่ำอย่างต่อเนื่องจึงทำให้สามารถสร้างภูมิคุ้มกันต่อต้านเชื้อได้ อย่างไรก็ตาม ในฤดูร้อนและฤดูฝนที่มีสภาพอากาศเหมาะผมต่อการแพร่กระจายของแมลงพาหะนำโรค จะส่งผลให้โคที่เคยสัมผัสกับเชื้อในพื้นที่โรคประจำถิ่นเกิดการติดเชื้อและแสดงอาการของโรคขึ้นได้อีกครั้ง (Simking et al., 2014) ทั้งนี้ การติดเชื้อพยาธิในเลือดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของฟาร์ม

ที่อยู่ใกล้เคียงแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงดูดเลือดพาหะนำโรค ด้านการจัดการฟาร์มที่ไม่สามารถกำจัดพาหะ หรือ แหล่งเพาะพันธุ์ได้ เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความชุกของพยาธิเม็ดเลือดในโคในเขตสหกรณ์โคนมวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร ด้วยวิธี thin blood smear พบโคนมที่ติดพยาธิในเลือดทั้งหมด 107 ตัว จาก 275 ตัว พบ *Anaplasma spp*. 75 ตัว(79.09%) *Babesia spp*. 32 ตัว(29.90%) คิดเป็น 38.90% ไม่พบการติดพยาธิในเลือดชนิด *Theileria spp*. และ *Trypanosoma spp.* ในการศึกษานี้พบว่า โคนมที่ติดพยาธิในเลือดมีความรุนแรงของระดับภาวะโลหิตจางระดับปานกลาง ฟาร์มที่เคยมีประวัติติดโรคพยาธิในเลือดในโคนมจะมีความเสี่ยงต่อการติดพยาธิในเลือดซ้ำเมื่อเทียบกับฟาร์มที่ไม่เคยพบโรค โรคพยาธิเม็ดเลือดส่งผลต่อสุขภาพของโคในฟาร์มทั้งแสดงอาการและไม่แสดงอาการ ในกลุ่มที่ไม่แสดงอาการยังคงเป็นพาหะแพร่เชื้อไปยังโคตัวอื่นในฟาร์ม แต่ในรายที่แสดงอาการทำให้ส่งผลกระทบต่อผลผลิต เช่น น้ำนมลด แท้งลูก นมไม่มีคุณภาพ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ นายสัตวแพทย์บุญส่ง บุญมาผึ้ง และสหกรณ์โคนมวาริชภูมิ จำกัด อ.วาริชภูมิ จ.สกลนคร ที่ให้การสนับสนุนการเก็บตัวอย่างวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ สิงห์อาสา, สุชวัล พรสุขอารมณ์, ดลฤทัย ศรีทะ, จเร อุดมยิ่ง, ยุวดี คงภิรมย์ชื่น, ธนกฤต จันทร์คง, ปองพล ทองเสงี่ยม, และ ณัฐกมล ช่างศรี. (2563). การศึกษาหาความชุกและปัจจัยเสี่ยงของการติดเชื้ออนาพลาสมาและบาบีเซียในแพะเนื้อและโคเนื้อในพื้นที่พรมแดนไทย-กัมพูชา. *สัตวแพทย์มหานครสาร, 15*(1), 1-11.

มาณวิกา ผลภาค, และ สาทิส ผลภาค. (2556). การติดเชื้อทริปปาโนโซมา อีแวนซายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. *วารสารสถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ, 8*(2), 32-55.

รุริรัตน์ วรสิงห์, และ สุธี รัตนะ. (2548). *ปรสิตในทางเดินอาหารและในเลือดโคที่ตรวจพบในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช*. น. 329-338. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, สาขาสัตว์และสัตวแพทยศาสตร์. วันที่ 30 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550, กรุงเทพมหานคร.

Fadly, R. S. (2012). Prevalence of blood parasites of some farm animals at Behera province. *Assiut Veterinary Medical Journal, 58*(134), 316-322.

Fielder, S. E. (2022). *Hematology Reference Ranges*. MSD veterinary manual. Retreved March 31, 2023 from https://www.msdvetmanual.com/special-subjects/reference-guides/serum-biochemical-analysis-reference-ranges.

Mamoudou, A., Payne, V. K., and Sevidzem S. L. (2015). Hematocrit alterations and its effects in naturally infected indigenous cattle breeds due to *Trypanosoma* spp. on the Adamawa Plateau – Cameroon. *Veterinary World, 8*(6), 813–818.

Simking, P., Yatbantoong, N., Saetiew, N., Saengow, S., Yodsri, W., Chaiyarat, R., Wongnarkpet, S., Jittapalapong, S. (2014). Prevalence and risk factors of Babesia infections in cattle trespassing natural forest areas in Salakpra Wildlife Sanctuary, Kanchanaburi Province. *The Journal of Tropical Medical and Parasitology*, 37, 10-9.

Tabor, A. E. (2022). *Anaplasmosis in Ruminants*. MSD veterinary manual. Retrieved April 1, 2023 from https://www.msdvetmanual.com/circulatory-system/blood-parasites/anaplasmosis-in-ruminants.

การใช้สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีในการปลูกดาวเรือง

THE USE OF SOIL STABILIZER FROM MECHANICAL AND BIOLOGICAL WASTE TREATMENT OF UDON THANI MUNICIPALITY FOR MARIGOLD CULTIVATION

อรรจนา ด้วงแพง*, ดรุณี พวงบุตร, โฉมยง ไชยอุบล, เยาวพล ชุมพล และ วชิราวุธ พิศยะไตร
Archana Duangpaeng*, Darunee Puangbut, Chomyong Chaiubon,
Yaowapol Choompol and Wachirawut Pitsayatrai

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
Agriculture Program, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

Received: 13 November 2023 Revised: 30 November 2023 Accepted: 13 December 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และระดับการใส่สารปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรืองพันธุ์ลูกผสมเทวี วางแผนการทดลองแบบ 2x2+1 Factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการทดลองในสภาพกระถาง และกำหนดให้ปัจจัย A คือ การหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM มี 2 ระดับ : 1) การหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และ 2) การไม่หมักสารปรับปรุงดิน ปัจจัย B คือ อัตราการใส่สารปรับปรุงดินในดินผสมมี 2 ระดับ : 1) อัตราการใส่สารปรับปรุงดิน 200 ก. ต่อดินผสม 5 กก. และ 2) อัตราการใส่สารปรับปรุงดิน 400 ก.ต่อ ดินผสม 5 กก. และทรีตเมนต์ควบคุม คือ ดินผสม 5 กก. จากการศึกษาพบว่าสารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานี มีลักษณะคล้ายคลึงกับปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างสูง มีปริมาณธาตุอาหารหลักเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกล

* Corresponding author: อรรจนา ด้วงแพง
E-mail: archana.du@udru.ac.th

และชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกดาวเรืองได้ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองในทุกลักษณะทำให้ต้นสูงขึ้น ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่ขึ้น มีจำนวนกิ่งแขนงเพิ่มขึ้น และเพิ่มผลผลิตให้กับดาวเรือง ทำให้จำนวนดอกต่อต้นมากขึ้น ดอกขนาดใหญ่ขึ้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อดอกสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนท์ควบคุม การนำสารปรับปรุงดินมาใช้ประโยชน์ในการปลูกดาวเรืองนั้นไม่จำเป็นต้องหมัก สามารถนำไปใส่ได้เลย อัตราการใส่สารปรับปรุงดินที่เหมาะสม คือ อัตรา 200 ก. ต่อดินผสม 5 กก. หรือประมาณ 2,000 กก.ต่อไร่ เป็นระดับที่เพียงพอต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้กับดาวเรือง

คำสำคัญ: สารปรับปรุงดิน, การเจริญเติบโต, ผลผลิต, ดาวเรือง

Abstract

The aim of this study was to investigate the impact of fermenting soil stabilizer by EM bacteria and the application rate of soil stabilizer on the growth and yield of marigold (F1), 'Devi'. The experimental design employed in this study involved the utilization of a factorial arrangement inside a 2x2+1 Randomized Complete Block Design (RCBD) framework, specifically in the context of planting pots. Factor A refers to the process of fermenting soil stabilizer using effective microorganisms (EM), which is characterized by two distinct levels: the first process involves the fermentation of soil stabilizer with EM, whereas the second process pertains to the non-fermentation of soil stabilizer. Factor B represents the rate of application, which consists of two distinct levels. The first level involves the application of 200 g of soil stabilizer per 5 kg of mixed soil, while the second level involves the application of 400 g of soil stabilizer per 5 kg of mixed soil. The experimental group consists of a control treatment with a quantity of 5 kg of soil that has been mixed. The findings indicated that there were comparable characteristics observed in the soil stabilizers derived from the mechanical and biological waste treatment

conducted by the Udon Thani Municipality, as well as those obtained from organic fertilizers. The composition of the soil stabilizer exhibited a significant concentration of organic matter and macronutrients, aligning with the organic fertilizer guidelines set by the Land Development Department. The utilization of soil stabilizer derived from mechanical and biological waste treatment in Udon Thani Municipality has the potential to be employed in the development of marigold plants. The marigold plant, when treated with a soil stabilizer, exhibited increased plant height, plant canopy, number of branches, number of flowers per plant, size of flowers, as well as average fresh and dry weight per flower, compared to the control treatment. The utilization of soil stabilizers in marigold production, without the need for fermentation, presents potential applications. The recommended treatment rate for optimal results is 200 g per 5 kg of mixed soil or approximately 2,000 kg per rai. This dosage has been found to effectively stimulate growth and enhance production in marigold plants.

Keywords: soil stabilizer, growth, yield, marigold

บทนำ

สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพ (Soil Stabilizer from Mechanical and Biological Treatment) ของเทศบาลนครอุดรธานี เป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายของวัสดุหรืออินทรีย์สารที่ได้จากกระบวนการกำจัดขยะโดยอาศัยกระบวนการทางกลและทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ ทำให้เปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ในขยะไปเป็นสารที่มีประโยชน์ในการบำรุงดิน หรือเรียกว่า “วัสดุปรับปรุงดิน (humus-like material)” ซึ่งเป็นวัสดุที่มีลักษณะคงรูป สีค่อนข้างดำ มีความชื้นเล็กน้อยและไม่มีกลิ่นเหม็น (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) สารปรับปรุงดิน หรือวัสดุปรับปรุงดิน มีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งทางกายภาพและทางเคมีเพื่อให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นเหมาะแก่การปลูกพืชทุกชนิด (กรีนเอิร์ธ, ม.ป.ป.) และมีความคล้ายคลึงกับปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยหมัก

ที่เกิดจากการสลายตัวของเศษซากพืช ซากสัตว์ และมูลฝอยหลายชนิดแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ ซึ่งเปลี่ยนรูปอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ สามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพดินได้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) สำหรับปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนเหมาะสำหรับชุมชนที่มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นวันละ 5-7 ตัน การหมักปุ๋ยจากขยะ ช่วยลดปริมาณขยะ ประเภทของขยะมูลฝอยสำหรับทำปุ๋ยหมัก ได้แก่ หญ้าแห้ง ฟางข้าว กิ่งไม้และเศษไม้ หญ้าและใบไม้สด เศษอาหาร ผักและเปลือกผลไม้ เปลือกไข่ และดอกไม้ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

โรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานี เป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลนครอุดรธานี ตั้งอยู่ที่บ้านโคกหนองหาด ตำบลหนองนาคำ อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี มีหน่วยงานเข้าร่วมกำจัดขยะมูลฝอย 48 แห่ง มีปริมาณขยะเข้าสู่ระบบกำจัดขยะ เฉลี่ย 298.69 ตันต่อวัน สารปรับปรุงดินเป็นผลพลอยได้จากการบำบัดขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหารด้วยวิธีกลและชีวภาพ มีประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดิน มีลักษณะเหมือนปุ๋ยอินทรีย์ ที่ช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน เพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน มีธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากองค์ประกอบของขยะที่เข้าสู่ระบบกำจัดขยะของเทศบาลนครอุดรธานี ส่วนใหญ่เป็นขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหาร ร้อยละ 41.08 ซึ่งเป็นเศษผัก เศษเนื้อ กระดูก เปลือกผลไม้ และเศษอาหาร (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 (อุดรธานี), 2565) สารอินทรีย์เหล่านี้ เมื่อผ่านการบำบัดทางชีวภาพจะมีการย่อยสลายจนกระทั่งมีลักษณะคล้ายปุ๋ยอินทรีย์ สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการปลูกพืชได้หลายชนิด โดยเฉพาะพืชประเภทไม้ดอกไม้ประดับ ที่เน้นการใช้ประโยชน์ในด้านความสวยงาม

ดาวเรืองเป็นไม้ดอกไม้ประดับที่เกษตรกรในจังหวัดอุดรธานีนิยมปลูก ดาวเรือง (Marigold) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Tagetes erecta* L. อยู่ในวงศ์ Compositae (Asteraceae) ดาวเรืองเป็นไม้ดอกไม้ประดับล้มลุกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นพืชปลูกง่าย สามารถขึ้นได้ในทุกสภาพพื้นที่ โตเร็ว ปลูกได้ตลอดปี อายุเก็บเกี่ยวสั้น สามารถตัดดอกจำหน่ายได้ใน 60-70 วัน ดอกมีสีสันสวยงาม อายุใช้งานได้หลายวัน นิยมปลูกเพื่อตัดดอกขายเพื่อร้อยมาลัย และปลูกเป็นดาวเรืองกระถางหรือดาวเรืองถุงเพื่อประดับในการเทศกาลต่างๆ สถานที่ราชการนิยมนำดาวเรืองกระถางไปประดับตกแต่งสถานที่ราชการ ดาวเรืองจึงเป็นไม้ดอกไม้ประดับที่มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ธุรกิจขายต้นกล้าดาวเรือง ดาวเรืองกระถาง

ดาวเรืองตัดดอก กลีบดอกเรืองแห้งสำหรับในการผลิตอาหารสัตว์ (ทวีพงศ์ สุวรรณโร และคณะ, 2545) ในงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และระดับการใส่สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรืองพันธุ์ลูกผสมเทวี

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการศึกษาผลของการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และระดับการใส่สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรืองพันธุ์ลูกผสมเทวี ซึ่งมีลักษณะดอกสีทองเข้ม ดอกใหญ่ เหมาะสำหรับประดับบ้าน หรือนำมาทำมาลัยถวายพระ ระยะเก็บเกี่ยว 45-60 วัน ทำการวิจัยที่แปลงทดลองพืชศาสตร์ของสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2564 ถึงเดือนตุลาคม 2564 เนื่องจากสถานที่ทดลองเป็นแปลงผลิตพืชที่เปิดโล่ง มีความแปรปรวนจากสภาพแวดล้อม จึงวางแผนการทดลองแบบ 2x2+1 Factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ มีหน่วยทดลอง คือ ดาวเรืองปลูกในกระถางจำนวน 1 ต้นต่อกระถาง และกำหนดให้ ปัจจัย A คือ การหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM มี 2 ระดับ ได้แก่ 1) การหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM ชนิดน้ำอัตรา 1.0% (v/v) และกากน้ำตาลอัตรา 1.5% (v/v) นาน 30 วัน และ 2) การไม่หมักสารปรับปรุงดิน ปัจจัย B คือ อัตราการใส่สารปรับปรุงดิน มี 2 ระดับ ได้แก่ 1) อัตราการใส่สารปรับปรุงดิน 200 ก.ต่อดินผสม 5 กก. และ 2) อัตราการใส่สารปรับปรุงดิน 400 ก.ต่อดินผสม 5 กก. และทรีตเมนต์ควบคุม คือ ดินผสม 5 กก.

การเตรียมทรีตเมนท์ตามแผนการทดลอง โดยเตรียมดินผสมจากดินแปลงทดลองพืชศาสตร์ ตากไว้ในโรงผสมดิน นาน 7 วัน จากนั้นจึงนำมาผสมกับ แกลบดำ ในอัตรา ดิน : แกลบดำ คือ 1:2 (v/v) ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน หมักสารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานี ด้วยจุลินทรีย์ EM ชนิดน้ำอัตรา 1.0% (v/v) และกากน้ำตาลอัตรา 1.5% (v/v) ทำโดยเตรียมน้ำสะอาด 20 ล. เติมกากน้ำตาล 300 มล. และน้ำหมัก EM 200 มล. จากนั้นรดใส่กอง สารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ปริมาณ 100 กก. ในระหว่างการรดน้ำ ก็ใช้พลั่วผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันจนทั่วและมีความชื้นประมาณ

60% จากนั้นแต่งกองให้สูงประมาณ 20 ซม. แล้วคลุมด้วยผ้าสแลนสีดำเพื่อควบคุมความชื้นเป็นระยะเวลานาน 30 วัน กลับกองทุก 2-3 วัน วิธีการใส่สารปรับปรุงดิน ผสมสารปรับปรุงดินในอัตราตามแผนการทดลองกับดินผสม 5 กก. คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำมาใส่ในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว บรรจุให้ดินผสมอยู่ระดับ 1 นิ้วจากขอบกระถาง

เตรียมต้นดาวเรือง โดยเพาะเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองเทวี F1 ในวัสดุเพาะกล้าพีทมอสในถาดเพาะกล้าขนาด 105 หลุม ใช้เมล็ดพันธุ์ดาวเรือง 1-2 เมล็ด ต่อ 1 หลุม รดน้ำเพื่อให้มีความชื้น เมื่อต้นกล้ามีใบจริง 2-3 ใบ นำต้นกล้าดาวเรืองที่เตรียมไว้ย้ายมาปลูกในกระถางที่เตรียมไว้ตามแผนการทดลอง จำนวน 1 ต้น ต่อกระถาง ควบคุมวัชพืชโดยใช้ผ้าใบคลุมวัชพืชคลุมให้ทั่วแปลงจากนั้นนำตะแกรงเหล็กสูง 30 ซม. มาตั้งบนผ้าใบคลุมวัชพืชเพื่อวางกระถางดาวเรือง ดูแลรักษาต้นดาวเรืองโดยรดน้ำวันละ 2 ครั้ง กำจัดวัชพืชในกระถางทุก 3-7 วัน โดยใช้วิธีกล เมื่อดาวเรืองอายุ 7 และ 14 วันหลังย้ายปลูก ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 0.5 กรัม ต่อ 1 กระถาง เมื่อดาวเรืองอายุ 45 วันหลังย้ายปลูก นำไม้มาปักรอบต้นดาวเรืองเพื่อพยุงลำต้น

บันทึกผลการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของต้นดาวเรือง ที่ระยะอายุ 40 วันหลังย้ายปลูก ได้แก่ ความสูงของต้นดาวเรืองจากโคนต้นจนถึงยอด ความกว้างของทรงพุ่มจากปลายใบด้านที่กว้างที่สุดจากด้านหนึ่งไปยังปลายใบอีกด้านหนึ่ง นับจำนวนกิ่งแขนงต่อต้นที่ระยะอายุ 90 วันหลังย้ายปลูก เก็บเกี่ยวดอกดาวเรืองที่บานเต็มที่และมีก้านติดยาว 10 ซม. โดยตัด 1 ครั้งต่อสัปดาห์ จากนั้นบันทึกข้อมูลองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ นับจำนวนดอกที่เก็บเกี่ยวได้ต่อต้น ในแต่ละครั้งของการเก็บเกี่ยว วัดขนาดดอกทุกดอกที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละรอบการเก็บเกี่ยว โดยวัดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง นำดอกดาวเรืองทุกดอกที่วัดขนาดของดอกเรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสองตำแหน่งและบันทึกน้ำหนักสดของแต่ละดอก จากนั้นคำนวณน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อดอกในแต่ละรอบของการเก็บเกี่ยวโดยการสุ่มเลือกดอกจำนวน 6 ดอก และนำไปคำนวณน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อดอกของตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ผลรวมของน้ำหนักสดของดอกต่อต้นตลอดอายุการเก็บเกี่ยว บันทึกน้ำหนักสดของต้น ทำการตัดต้นดาวเรืองหลังจากเก็บเกี่ยวดอกหมดแล้ว ตัดชิดโคนต้น บันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง บันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของราก บันทึกอายุการปักแจกันของดอกดาวเรือง โดยตัดดอกดาวเรืองที่บานเต็มที่ และมีก้านยาว 10 ซม. ปักในแก้วที่บรรจุน้ำสะอาด จากนั้นสังเกตุ

ว่าดอกดาวเรืองมีลักษณะกลีบดอกเหี่ยว ให้ถือว่าเป็นการสิ้นสุดอายุการใช้งานของดอก แล้วให้นับจำนวนวันจากวันที่เริ่มต้นปักแจกันไปจนถึงวันที่หมดอายุการใช้งาน บันทึกน้ำหนักแห้งของดอกดาวเรืองที่ถูกนำไปตากแดดนาน 7 วัน วิเคราะห์ผลการทดลอง ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละลักษณะ ตามแผนการทดลอง Factorial in RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. สมบัติของสารปรับปรุงดินเพื่อใช้ในการปลูกพืช

จากการผลการวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของสารปรับปรุงดินเพื่อใช้ในการปลูกพืช ชี้ให้เห็นว่า สารปรับปรุงดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่ 8.1 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) 3.9 dS/m อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) 11.5:1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) อยู่ที่ร้อยละ 33 มีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ร้อยละ 1.7 ฟอสเฟตทั้งหมด (Total P_2O_5) ร้อยละ 1.3 และโปแตสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ร้อยละ 0.6 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 1) แต่อย่างไรก็ตาม สารปรับปรุงดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 8.1 ซึ่งมีความเป็นด่างปานกลาง หากใส่ในปริมาณที่มาก อาจส่งผลกระทบกับความประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น (รัตนชาติ ช่วยบุดดา และ บุศรินทร์ แสวงลาภ, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 1 สมบัติบางประการของสารปรับปรุงดินเพื่อใช้ในการปลูกพืช

สมบัติบางประการ	ระดับ	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน[1]	การประเมิน
pH	8.1	อยู่ระหว่าง 5.5-8.5	เป็นไปตามมาตรฐาน
EC (dS/m)	3.9	ไม่เกิน 10	เป็นไปตามมาตรฐาน
C/N Ratio	11.5:1	ไม่เกิน 20:1	เป็นไปตามมาตรฐาน
OM (%)	33	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30	เป็นไปตามมาตรฐาน
Total N (%)	1.7	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0	เป็นไปตามมาตรฐาน
Total P_2O_5 (%)	1.3	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5	เป็นไปตามมาตรฐาน
Total K_2O (%)	0.6	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5	เป็นไปตามมาตรฐาน

[1] กรมพัฒนาที่ดิน (ม.ป.ป.)

2. ผลของการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และระดับการใส่สารปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรืองพันธุ์ลูกผสมพันธุ์เทวี

จากการศึกษาผลการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และระดับการใส่สารปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองมีดังนี้

การหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM มีผลให้ความสูงของต้นและขนาดของทรงพุ่มที่อายุ 40 วันหลังย้ายปลูก น้ำหนักสดของต้น น้ำหนักแห้งของต้น น้ำหนักสดของราก และน้ำหนักแห้งของรากที่อายุ 90 วันหลังย้ายปลูก ไม่แตกต่างกับการไม่หมักสารปรับปรุงดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่การหมักสารปรับปรุงดินมีผลทำให้จำนวนกิ่งแขนงต่อต้นที่อายุ 90 วันหลังย้ายปลูกมากกว่าการไม่หมักสารปรับปรุงดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ ยังพบว่าอัตราการใส่สารปรับปรุงดินที่ระดับ 200 ก.ต่อดินผสม 5 กก. มีผลให้ความสูงของต้นและขนาดของทรงพุ่มที่อายุ 40 วันหลังย้ายปลูก น้ำหนักสดของต้น น้ำหนักแห้งของต้น น้ำหนักสดของราก และน้ำหนักแห้งของรากที่อายุ 90 วันหลังย้ายปลูก ไม่แตกต่างกับอัตราการใส่สารปรับปรุงดินระดับ 400 ก. ต่อดินผสม 5 กก. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อัตราการใส่สารปรับปรุงดินที่ระดับ 200 ก. ต่อดินผสม 5 กก. มีผลทำให้จำนวนกิ่งแขนงต่อต้นที่อายุ 40 วันหลังย้ายปลูกมากกว่าอัตราการใส่สารปรับปรุงดินระดับ 400 ก. ต่อดินผสม 5 กก.อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างระหว่างการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และอัตราการใส่สารปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่สารปรับปรุงดินทุกทรีตเมนท์มีผลทำให้ความสูงของต้นและขนาดของทรงพุ่มที่อายุ 40 วันหลังย้ายปลูก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากที่อายุ 90 วันหลังย้ายปลูก มากกว่าทรีตเมนท์ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ตารางที่ 3)

การหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM มีผลให้จำนวนดอกต่อต้น ขนาดดอก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อดอก น้ำหนักสดของดอกทั้งหมดต่อต้น และอายุการปักแจกันไม่แตกต่างกับการไม่หมักสารปรับปรุงดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ ยังพบว่าอัตราการใส่สารปรับปรุงดินที่ระดับ ต่อ200 ก. ต่อดินผสม 5 กก. มีผลให้จำนวนดอกต่อต้น ขนาดดอก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งดอก น้ำหนักสดของดอกทั้งหมดต่อต้น และอายุการปักแจกัน ไม่แตกต่างกับอัตราการใส่สารปรับปรุงดินระดับ 400 ก.

ต่อดินผสม 5 กก. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และอัตราการใส่สารปรับปรุงดินต่อผลผลิตดอกดาวเรือง (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่สารปรับปรุงดินทุกทรีตเมนท์มีผลทำให้จำนวนดอกต่อต้น ขนาดดอก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อดอก น้ำหนักสดของดอกทั้งหมดต่อต้น และอายุการปักแจกัน มากกว่าทรีตเมนท์ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ตารางที่ 5)

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าการใส่สารปรับปรุงดินทั้งแบบหมักด้วยจุลินทรีย์ EM และแบบไม่หมัก ในอัตรา 200 และ 400 ก.ต่อดินผสม 5 กก. มีผลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรืองสูงกว่าทรีตเมนท์ควบคุมที่ใช้ดินผสมเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95% การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำสารปรับปรุงดินไปใช้ประโยชน์ในการปลูกดาวเรือง ช่วยส่งเสริมให้ต้นดาวเรืองมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับที่ Owen et al. (2017) ได้รายงานว่า ดาวเรืองมีความต้องการธาตุอาหารในระดับต่ำถึงปานกลาง มีความต้องการไนโตรเจนที่ระดับ 100-200 ppm N ต่อ กก.ดิน หรือ 0.1-0.2 ก.N ต่อ กก.ดิน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในตารางที่ 1 สารปรับปรุงดินมีธาตุไนโตรเจนร้อยละ 1.7 หรือ 17 ก.N ต่อ กก.สารปรับปรุงดิน ในการวิจัยนี้ศึกษาระดับการใส่สารปรับปรุงดินในอัตรา 200 และ 400 ก.ต่อดินผสม 5 กก. ซึ่งสามารถให้ไนโตรเจนกับดาวเรืองได้ในปริมาณ 3.4 และ 6.8 ก.N ต่อดินผสม 5 กก. หรือ 0.68 และ 1.36 ก.N ต่อ กก.ดินผสม จึงมีปริมาณไนโตรเจนที่เพียงพอต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง แตกต่างจากพัชรี สิริตระกูลศักดิ์ และคณะ (2561) ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก.ต่อไร่ ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรืองดีกว่าการใส่ปุ๋ยหมักเติมอากาศ ในอัตราตั้งแต่ 300-1,200 กก.ต่อไร่ การใช้ปุ๋ยหมักเติมอากาศ มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตและผลผลิตที่สูงเช่นกันแต่ไม่ดีเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี ดังนั้นรายงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกดาวเรืองได้ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้กับดาวเรือง ทำให้จำนวนดอกต่อต้นมากขึ้นและดอกมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม่มีผลต่อความทนทานในการใช้งานของดอกดาวเรือง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีมีลักษณะคล้ายคลึงกับปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างสูง มีปริมาณธาตุอาหารหลักเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง) ของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.) อย่างไรก็ตามไม่จำเป็นต้องหมักสารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีด้วยจุลินทรีย์ EM เนื่องจากสารปรับปรุงดินนี้ผ่านกระบวนการหมักมาแล้ว มีปริมาณจุลินทรีย์บางชนิดที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ *Bacillus* sp. และ Lactic Acid Bacteria (LAB) สารปรับปรุงดินนี้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเช่นเดียวกับปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้โดยตรงและมีอินทรียวัตถุเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช กระบวนการย่อยสลายของอินทรียสารที่ได้จากปุ๋ยอินทรีย์นั้นสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืชด้วยการทำงานจุลินทรีย์ในดิน พืชสามารถนำไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชระยะยาว (ธงชัย มาลา, 2546) ทั้งนี้อัตราการใส่สารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้กับต้นดาวเรือง คือ อัตรา 200 ก.ต่อดินผสม 5 กก. หรือประมาณ 2,000 กก.ต่อไร่ เป็นระดับที่เพียงพอต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้กับดาวเรือง เช่นเดียวกับการศึกษาของ ศิราณี วงศ์กระจ่าง (2560) โดยทำการทดลองใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุอินทรีย์ป่าพรุต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง พบว่า การใช้ปุ๋ยหมัก ในอัตรา 40% โดยน้ำหนัก ทำให้ต้นดาวเรืองมีการเจริญเติบโตทางลำต้นได้ดีกว่าสิ่งทดลองควบคุม อีกทั้งยังทำให้ต้นดาวเรืองมีความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและจำนวนดอกสูงกว่าดาวเรืองที่ปลูกในดินผสมที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ในงานวิจัยนี้มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 0.5 ก. ต่อกระถาง เมื่อดาวเรืองอายุ 7 และ 14 วันหลังย้ายปลูก ในทุกทรีตเมนท์ ทั้งนี้การใส่สารปรับปรุงดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างสูง และมีธาตุอาหารหลักเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน จึงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้น มีผลให้จำนวนดอกเพิ่มขึ้น ขนาดดอกใหญ่ขึ้น และน้ำหนักสดของดอกต่อต้นเพิ่มขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุอินทรีย์มีผลต่อโครงสร้างของดิน ทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินดีขึ้น สอดคล้องกับ นวลปรางค์ ไชยตะขบ และ ธงชัย มาลา (2548) รายงานว่าหากใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียวทำให้ขนาดดอกและความสูงของดาวเรืองไม่แตกต่างกันกับการใส่ปุ๋ยเคมี แต่การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ มีแนวโน้มที่จะให้ดอกขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ อรรณพ คณาเจริญพงษ์ และคณะ (2546) ซึ่งรายงานผลการศึกษาอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่เหมาะสมโดยใช้วัสดุหลัก 3 ส่วนคือ ดินหมัก ปุ๋ยอินทรีย์-ชีวภาพ และถ่านแกลบในอัตราส่วน 1:1:1, 1.2:1 และ 1:3:1 เปรียบเทียบกับการปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตรา

แนะนำของการปลูกดาวเรืองคือ ปุ๋ยเคมีสูตร 5-15-15 อัตรา 15 ก. ต่อกระถาง ผลการทดลองพบว่าวัสดุปลูกทั้ง 3 อัตราส่วน ทำให้ดาวเรืองมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตดอกดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี กล่าวคือวัสดุผสมอัตราส่วน 1:2:1 และ 1:3:1 ทำให้ต้นดาวเรือง มีความสูง มวลชีวภาพแห้ง และขนาดทรงพุ่มดีที่สุด และมีจำนวนดอก ขนาดดอก และน้ำหนักแห้งรวมของดอกมากกว่า ยิ่งไปกว่านั้นดาวเรืองยังออกดอกเร็วขึ้นโดยมีดอกบานเต็มที่ในเวลา 40 วัน ในขณะที่การใช้ดินและใส่ปุ๋ยใช้เวลา 60 วัน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของนพมาศ นามแดง และคณะ (2565) ที่รายงานถึงปลูกดาวเรืองโดยใช้วัสดุปลูก + ปุ๋ยมูลม้า 80 ก. ต่อต้น + ปุ๋ยเคมี อัตรา 10 ก. ต่อต้น และวัสดุปลูก + ปุ๋ยมูลม้า 120 ก. ต่อต้น + ปุ๋ยเคมี 7.5 ก. ต่อต้น เหมาะสมที่สุด เพราะทำให้ต้นดาวเรืองเจริญเติบโตได้ดี และให้ผลผลิตดอกดาวเรืองสูงที่สุด เนื่องจากการใส่ปุ๋ยมูลม้าซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์จากระบบการเลี้ยงม้าเชิงพานิชย์สามารถนำมาใช้ผสมกับวัสดุปลูกและใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราน้อยกว่าอัตราแนะนำการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวได้ ดังนั้นจากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารปรับปรุงดินซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีมีประโยชน์ในการบำรุงดินเพื่อการปลูกดาวเรือง ทำให้ดาวเรืองเจริญเติบโตและให้ผลผลิตมากขึ้น และเป็นแนวทางในการนำสารปรับปรุงดินไปใช้ในการปลูกไม้ดอกไม้ประดับชนิดอื่นๆ ต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และระดับการใส่สารปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

ทรีตเมนท์	อายุ 40 DAT[1/]			อายุ 90 DAT			
	ความสูงต้น (ซม.)	ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)	จำนวนกิ่งแขนง	นน. สดต้น (กรัมต่อต้น)	นน. แห้งต้น (กรัมต่อต้น)	นน. สดราก (กรัมต่อต้น)	นน. แห้งราก (กรัมต่อต้น)
ปัจจัย A การหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM							
การหมัก	64.12	37.06	18.78	95.44	23.70	11.87	4.98
การไม่หมัก	67.64	38.39	16.69	100.42	22.65	17.48	6.39
F-test A	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
ปัจจัย B อัตราการใส่สารปรับปรุงดิน							
200 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	65.27	36.75	17.05	95.69	22.76	15.58	6.03
400 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	66.50	38.70	18.42	100.17	23.59	13.77	5.34
F-test B	ns	ns	*	ns	ns	Ns	ns
F-test A × B	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
C.V. (%)	4.6	5.3	5.03	8.69	11.74	25.65	58.59

[1/]DAT = Day after transplanting (จำนวนวันหลังย้ายปลูก) ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

*= มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างทรีตเมนต์ควบคุมกับการใส่สารปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

ทรีตเมนท์	อายุ 40 DAT[1/]			อายุ 90 DAT			
	ความสูงต้น (ซม.)	ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)	จำนวนกิ่งแขนง	นน.สดต้น (กรัมต่อต้น)	นน.แห้งต้น (กรัมต่อต้น)	นน.สดราก (กรัมต่อต้น)	นน.แห้งราก (กรัมต่อต้น
ควบคุม	58.19b[2/]	28.61b	12.50c	65.40b	13.72b	8.93b	3.22b
การหมัก+200 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	63.03ab	35.83a	17.99ab	95.50a	23.85a	13.42ab	5.75ab
การหมัก+400 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	65.21a	38.28a	19.55a	95.37a	23.55a	10.31b	4.21ab
การไม่หมัก+200 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	67.50a	37.67a	16.11b	95.87a	21.65a	17.74a	6.31a
การไม่หมัก+400 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	67.78a	39.11a	17.28ab	140.96a	23.64a	17.22a	6.46a
F-test	*	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	4.58	5.15	8.99	10.78	11.75	22.92	28.51

[1/]DAT = Day after transplanting (จำนวนวันหลังย้ายปลูก) [2/]ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

*= มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4 ผลการหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM และระดับการใส่สารปรับปรุงดินต่อผลผลิตดาวเรือง

ทรีตเมนท์	จำนวนดอกต่อต้น	ขนาดดอก (ซม.)	นน.สดดอก (กรัม)	นน.แห้งดอก (กรัม)	นน.สดดอกต่อต้น (กรัม)	อายุการปักแจกัน (วัน)
ปัจจัย A การหมักสารปรับปรุงดินด้วยจุลินทรีย์ EM						
การหมัก	11.92	7.68	10.98	1.23	99.73	4.63
การไม่หมัก	11.17	7.35	11.09	1.29	99.77	4.64
F-test A	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ปัจจัย B อัตราการใส่สารปรับปรุงดิน						
200 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	11.58	7.31	11.01	1.28	100.07	4.57
400 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	11.50	7.72	11.06	1.24	99.44	4.71
F-test B	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F-test A×B	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
C.V. (%)	9.67	5.72	12.41	11.13	13.71	4.31

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบระหว่างทรีตเมนต์ควบคุมกับการใส่สารปรับปรุงดินต่อผลผลิตของดาวเรือง

ทรีตเมนท์	จำนวนดอกต่อต้น	ขนาดดอก (ซม.)	นน.สดดอก (กรัม)	นน.แห้งดอก (กรัม)	นน.สดดอกต่อต้น (กรัม)	อายุการปักแจกัน (วัน)
ควบคุม	6.83b[1/]	6.13c	6.67b	0.90b	43.00b	4.82
การหมัก+200 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	11.83a	7.41ab	10.97a	1.19a	96.84a	4.59
การหมัก+400 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	12.00a	7.95a	10.99a	1.27a	102.61a	4.66
การไม่หมัก+200 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	11.33a	7.22b	11.05a	1.21a	103.29a	4.54
การไม่หมัก+400 ก.ต่อดินผสม 5 กก.	10.99a	7.48ab	11.13a	1.21a	96.26a	4.75
F-test	*	*	*	*	*	ns
C.V. (%)	10.38	4.97	10.92	10.11	12.95	5.35

[1/] ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ *= มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สรุปผลการวิจัย

สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีมีลักษณะคล้ายคลึงกับปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างสูง มีปริมาณธาตุอาหารหลักเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกดาวเรืองได้ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง ทำให้ต้นสูง ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่ขึ้น มีจำนวนกิ่งแขนงเพิ่มขึ้น และเพิ่มผลผลิตให้กับดาวเรือง ทำให้จำนวนดอกต่อต้นมากขึ้นและดอกมีขนาดใหญ่ขึ้น การนำสารปรับปรุงดินมาใช้ประโยชน์ในการปลูกดาวเรืองนั้นไม่จำเป็นต้องหมักสามารถนำไปใส่ได้เลย อัตราการใส่สารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้กับต้นดาวเรือง คือ อัตรา 200 ก.ต่อดินผสม 5 กก. หรือประมาณ 2,000 กก.ต่อไร่ เป็นระดับที่เพียงพอต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้กับดาวเรือง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทไทยโซริด รีนิวเอเบิล เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด สำหรับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัย และสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2547). *คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย.* กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 16 หน้า.

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). *รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2552*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 4, 268 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. (ม.ป.ป.). *มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง) ของกรมพัฒนาที่ดิน*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566, จาก http://www1.ldd.go.th/ldd/Fertilizer/organic_Fertilizer.pdf.

กรีนเอิร์ธ. (ม.ป.ป.). *สารปรับปรุงดิน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566, จาก https://www.greenearthinnovation.com.

ทวีพงศ์ สุวรรณโร, เอกวัฒน์ จันทรวงศ์ และ เรณู ดอกไม้หอม. (2545). *การปลูกดาวเรือง*. กรมส่งเสริมการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 19 หน้า.

ธงชัย มาลา. (2546). *ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ.* ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

นพมาศ นามแดง, เลิศพงษ์ มั่นวงศ์, ธิติมา มั่นวงศ์ และ อารีรัตน์ ลุนผา. (2565). *อิทธิพลของปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลม้า และปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลม้าต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตดอกดาวเรือง*. น. 54-64. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 16. 11-12 กรกฎาคม 2565. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566, จาก https://www.ubu.ac.th/web/files_up/00008f2022090117165337.pdf.

นวลปรางค์ ไชยตะขบ และ ธงชัย มาลา. (2548). *ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานผงชูรสที่มีต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง*. น. 507-515. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43, สาขาพืช, วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2548, กรุงเทพฯ.

พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, กาญแก้ว แซ่จ้าว, สกุลกานต์ สิมลา, มงคล วงศ์สวัสดิ์, และ สำเร็จ สีเครือดง. (2561). ผลของปุ๋ยหมักเติมอากาศต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรือง. *แก่นเกษตร*, 46(ฉบับพิเศษ 1), 1211-1216.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2543). *ธาตุอาหารพืช*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตนชาติ ช่วยบุดดา และ บุศรินทร์ แสวงลาภ. (ม.ป.ป.). *คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. เอกสารวิชาการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566, จาก https://e-library.ldd.go.th/library/Ebook/bib10134.pdf.

ศิราณี วงศ์กระจ่าง. (2560). ผลของการใช้ปุ๋ยหมักวัสดุอินทรีย์จากป่าพรุต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง. *การเกษตรราชภัฏ, 16*(1), 54-59.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 (อุดรธานี). (2565). *รายงานผลการศึกษาการคัดแยกขยะมูลฝอยสถานที่กำจัดขยะเทศบาลนครอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี*. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2566, จาก https://www.mnre.go.th/reo09/th/information/more/425.

อรรณพ คณาเจริญพงษ์, อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง, สุรเทพ เทพลิขิตกุล, ใจศิลป์ ก้อนใจ และ สมพร ชุนห์ลือชานนท์. (2546). ผลของวัสดุปลูกต่อการเติบโตและผลผลิตของดอกดาวเรือง. *วารสารเกษตร, 19*(2), 153-159.

Owen, W. G., Henry, J., and Whipker, B. E. (2019). *Nutritional Monitoring: Marigolds (Tagetes erecta & T. patula). e-GRO Alert,* Retrieved November 13, 2023 from https://www.e-gro.org/pdf/2017_641.pdf.

Udon Thani Rajabhat University
Journal of Science and Technology
Vol.11 Issue.3 (2023)
ISSN 2287-0083

บทความวิจัย

คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาของน้ำส้มพาสเจอไรซ์เสริมเกสรผึ้งในระหว่างการเก็บรักษา 91
ธีราพร ปฏิเวธวิทูร

การพัฒนาข้าวหมากจากข้าวไรซ์เบอรี่ และการศึกษาคุณสมบัติของยีสต์ข้าวหมากต่อการต้านทานแบคทีเรีย ESCHERICHIA COLI 111
พรพรรณ รัตนะสัจจะ, จารุณี สนองคุณ, อาคม ทะยีอูมา, มานพ สังข์แก้ว และ พิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร

ความชุกและปัจจัยของการติดพยาธิในเลือดในโคนมพื้นที่สหกรณ์โคนวาริชภูมิ จำกัด 129
ธีระกุล นิลนนท์ และ ปราณปรียา ทอดทอง

การใช้สารปรับปรุงดินจากโรงบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของเทศบาลนครอุดรธานีในการปลูกดาวเรือง 139
อรรจนา ด้วงแพง, ดรุณี พวงบุตร, โฉมยง ไชยอุบล, เยาวพล ชุมพล และ วชิราวุธ พิศยะไตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถ.ทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000
โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702 โทรสาร: 042-241586
เว็บไซต์: http://rdi.udru.ac.th
เว็บไซต์: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru
อีเมล์: scjournal@udru.ac.th