



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology

ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม 2567) | Vol.12 Issue.3 (September – December 2024)

ISSN 2287 – 0083

บทความวิจัย

- คุณภาพของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก 1
ธวัชชัย จิตวารินทร์, บุญชัย เมฆแก้ว, สุวิชญา ภูทับทิม, ชุฟเพ็ญณี สนิ, ภักดีนภัส ศรีคำ
และ ลภัสสรดา จิตวารินทร์
- ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคผิวหนัง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส
ของสารสกัดหยาดใบโศดทะนงแดง 19
สุภัทสร วันสุทะ และ อรณิชา ครองยุติ
- ระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน 35
อิศวรรวิทย์ ศิริพันธ์ และ สุทิตา ซองเหล็กนอก
- การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ ของตำรับยาสมุนไพร
นำพล แปนเมือง, ภัทรานิษฐ์ คำแผ่นจิริโรจน์, สุวิมล ดอบุตร, พัทธนันท์ พิณราช
และ ลลิตา วรโยธา 51
- ศักยภาพการสะสมคาร์บอนของต้นมะกึ่งยงพันธุ์คัดเลือกในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก 67
อนุสรรา จบศรี และ ณัฐริรา ก้าวินจันทร์



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 (2567)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.12 Issue.3 (2024)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 (2567)

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; ISSN 2287-0083) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวารสารรับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ ในกลุ่มวิทยาศาสตร์สาขาเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ กลุ่มวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพ กลุ่มเกษตรศาสตร์ สาขาพืชศาสตร์ เศรษฐศาสตร์เกษตร ประมง และสัตวศาสตร์ 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.คณิตรา ธีรสุนทรสกุล	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ม่วงปฐม	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ์ เฟื่องชัย	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี บุญมี	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล สิงห์คำ	รองอธิการบดี
ดร.วิบูล เป็นสุข	รองอธิการบดี
ดร.เอกราช ดีนาง	รองอธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิบาท	คณบดีคณะเทคโนโลยี
ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 (2567)

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิราวรรณ กุนัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ยศวริศ เสมามิ่ง

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นลออ

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอม วชิราภากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา มีสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม

รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูริศ ศรีภูธร

รองศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ฤทธิชัย พิลาไชย

รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ เหมวงษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงภูมิ อุตรา

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.สุมาลินทร์ พ่อคำ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชภักย์ จิตต์อารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติต คำหล้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทีบุญมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 (2567)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ สพ.ญ.ดร.วิบัณฑิตา จันทร์กิตติสกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.มานันต์ คำกอง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล มงคลธนะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.สุวลักษณ์ ศรีสุภา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติขร โสภณาภรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ เจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ คงฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ เมืองคุ้ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธินทร์ สมพร	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ปานเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ อนันตกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจธรรม สุขณีวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยศวริศ เสมามิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยสุดา ดันเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัธนา วงศ์อารีย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิไลพร กุลตั้งวัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.กุสวดี เปลกระโทก	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ดร.ชลดา ศรีเศรษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน วิทยาเขตสกลนคร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 (2567)

คณะกรรมการดำเนินงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ณัฐนันท์ สุวรรณวงค์	รองประธานกรรมการ
นายกวีพงษ์ หงส์ทอง	กรรมการ
ดร.เบญจธรรม สุขณีนวัฒน์	กรรมการ
นางสาวศิวพร ภูกองทอง	กรรมการ
นายธราดล ปราบภัย	กรรมการ
นางพิมพ์พรรณ ศรีภูธร	กรรมการ
นายอภิเดช อภิพัฒน์ภาคกุล	กรรมการ
นางสาวนัชชา คำบุญมา	กรรมการ
นายธนวิษณุ ปังขามาศย์	กรรมการ
นางสาววณัฐพร แผงขวา	กรรมการ
นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวศศิตา พงศาวัลี	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพรพย์ เลิศปรีดากร

พิธีกรอักษร

นางสาวศิวพร ภูกองทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรงณ์

นางสาวศศิตา พงศาวัลี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 (2567)

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>

อีเมล: 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 12 ฉบับที่ 3 ประจำปี พ.ศ. 2567 มีบทความวิจัยจำนวน 5 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้อ่านทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ส่งบทความ และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร

ปิยวดี ยาบุษดี

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
คุณภาพของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก <i>ธวัชชัย จิตวารินทร์, บุญชัย เมฆแก้ว, สุวิชญา ภูทับทิม, ชุฟเพียณี สนิ, ภักดีนภัส ศรีคำ และ ลภัสสรดา จิตวารินทร์</i>	1
ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคผิวหนัง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาบโสดทะเลนางแดง <i>สุภัทสร วันสุทะเล และ อรณิชา ครองยุติ</i>	19
ระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน <i>อัครวิทย์ ศิริจันทร์ และ สุทิดา ของเหล็กนอก</i>	35
การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ ของตำรับยาสุขไสยาสน์ <i>นำพล แปนเมือง, ภัทรานิษฐ์ คำแผ่นจिरโรจน์, สุวิมล ดอบบุตร, พัทธนันท์ พิณราช และ ลลิตา วรโยธา</i>	51
ศักยภาพการสะสมคาร์บอนของต้นมะเกลือพันธุ์คัดเลือกในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก <i>อนุสรรา จบศรี และ ณีภูษิรา กำวินจันทร์</i>	67

คุณภาพของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก

QUALITIES OF BROWN SUGAR FROM CHOK TREE (*Arenga pinnata* Merr.)

รัชชัย จิตวารินทร์¹, บุญชัย เมฆแก้ว¹, สุวิชญา ภูทับทิม¹, ชุฟเพียณี สนิ¹, ภัคตินภัส ศรีคำ¹
และ ลภัสสรดา จิตวารินทร์^{2,*}

Tawatjai Jitwarin¹, Boonchat Mekkaeo¹, Suwichaya Putubtim¹, Sufianee Sani¹,
Paknapas Srikhum¹ and Lapasrada Jitwarin^{2,*}

¹วิทยาลัยชุมชนพังงา, ² คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

¹Phang nga Community College, ² Faculty of Social Sciences and Humanities, Mahidol University

Received: 20 August 2024

Revised: 3 November 2024

Accepted: 12 November 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก (*Arenga pinnata* Merr.) และ 2) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลผง ตัวอย่างในการวิจัย คือน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกที่ผลิตโดยเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในจังหวัดพังงา จำนวน 3 ตัวอย่าง ผลการวิจัย พบว่า คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 40.05±7.59 15.02±1.58 และ 31.36±4.28 ตามลำดับ คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้นร้อยละ 5.20±1.02 ค่า aw 0.66±0.21 ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลผงเล็กน้อย เถ้าร้อยละ 0.97±0.25 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.09±0.04 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 252.18±48.73 mgGAE/100g ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ร้อยละ 20.13±4.13 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 83.43±2.27 โดยพบน้ำตาลซูโครสมากที่สุด รองลงมาคือกลูโคสและฟรุคโตส ตามลำดับ คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราเป็นไปตามมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลผง

คำสำคัญ: คุณภาพ, น้ำตาลทรายแดง, ต้นชก (*Arenga pinnata* Merr.), ผลิตภัณฑ์ชุมชน

* Corresponding author: ลภัสสรดา จิตวารินทร์

E-mail: lapasrada.jit@mahidol.ac.th

Abstract

The objectives of this research were to: 1) study the physical, chemical, and microbiological qualities of Chok (*Arenga pinnata* Merr.) brown sugar and 2) compare the qualities of Chok brown sugar with the community product standards for powdered sugar. The research samples consisted of three samples of Chok brown sugar produced by sugar palm processing farmers in Phang Nga province. The results showed that the physical qualities including color values L^* , a^* , and b^* of 40.05 ± 7.59 , 15.02 ± 1.58 , and 31.36 ± 4.28 , respectively. The chemical qualities included a moisture content of $5.20 \pm 1.02\%$, water activity (a_w) of 0.66 ± 0.21 , which is slightly higher than the community product standard for powdered sugar, ash content of $0.97 \pm 0.25\%$, pH value of 5.09 ± 0.04 , total phenolic compounds of 252.18 ± 48.73 mgGAE/100g, antioxidant activity (DPPH) of $20.13 \pm 4.13\%$, and total sugar content of $83.43 \pm 2.27\%$, with sucrose was present in the highest, followed by glucose and fructose, respectively. The microbiological quality tests showed that the total plate count and yeast and mold counts complied with the microbiological standards for community powdered sugar products.

Keywords: Qualities, Brown Sugar, Chok Tree (*Arenga pinnata* Merr.), Community Products

บทนำ

ต้นชก (*Arenga pinnata* Merr.) เป็นพืชยืนต้นวงศ์ Arecaceae ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับต้นปาล์ม พืชปาล์มสกุล *Arenga* ของประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 2 สายพันธุ์ย่อย คือ ต้นชก (*Arenga pinnata* Merr.) ซึ่งพันธุ์นี้จะใช้ทำน้ำตาลชก พบกระจายอยู่ในภาคใต้เท่านั้น ส่วนต้นตาวหรือต้นชิต (*Arenga westerhoutii* Griff.) ซึ่งกระจายอยู่ทั่วประเทศจะให้ผลผลิตคือลูกชิตที่บริโภคกันทั่วไป (รวีศ ทศคร, 2564) ส่วนของต้นชกที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ผลนำมารับประทานโดยนำไปแช่อิ่ม น้ำหวานนำมาทำเป็นน้ำตาลทรายแดง ใบนำมาจักสาน และตัดเย็บ มุงหลังคา ยอดนำไปทำอาหาร (เกษตรอินทรีย์, 2565) นอกจากนี้ยังมีส่วนต่างๆ

ของต้นชกที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้ เช่น ใช้ก้านช่อดอกชกเป็นวัสดุแทนเชือกเส้นใยจากก้านช่อดอกชกสามารถนำไปทอเป็นผ้าทอได้ (ธวัชชัย จิตวารินทร์ และคณะ, 2565ก) ต้นชกถือได้ว่าเป็นพืชท้องถิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดพังงาที่พบได้ตามธรรมชาติในพื้นที่บริเวณภูเขาหินปูนตำบลบ่อแสน อำเภอทับปุด และชุมชนบางเตย อำเภอเมือง จังหวัดพังงา อีกทั้งเป็นพืชที่สร้างรายได้ให้แก่ชุมชน และกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกในพื้นที่ดังกล่าวซึ่งเป็นกลุ่มเกษตรกรเพียงกลุ่มเดียวในจังหวัดพังงาที่ผลิตน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกจะมีราคาขายอยู่ที่ 150 บาทต่อกิโลกรัม โดยในแต่ละปีเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกแต่ละรายจะมีรายได้จากการจำหน่ายน้ำตาลชกประมาณปีละ 160,000-200,000 บาท ดังนั้นผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรและมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจชุมชนเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้กลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก ได้เข้าร่วมการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจจำนวน 3 ราย จากทั้งหมด จำนวน 5 ราย

น้ำตาลทรายแดงเป็นน้ำตาลที่ผลิตโดยใช้กระบวนการแปรรูปน้อยที่สุดและไม่ผ่านกระบวนการฟอกขาวหรือทำให้บริสุทธิ์เหมือนน้ำตาลทรายขาว จึงทำให้การบริโภคน้ำตาลทรายแดงมีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าน้ำตาลทรายขาว โดยงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ ได้แก่ งานวิจัยของ Haniyah & Purwani (2022); Azrina et al. (2020); Jong et al. (2018); Munawar et al. (2017); ยุพารัตน์ โปธิเศษ และ เนิชญาณี วุฒินิธิตานนท์ (2564) และ Kongkaew, et al. (2014) ระบุว่าน้ำตาลทรายแดงมีสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) ที่มีฤทธิ์เป็นสารฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) มากกว่าน้ำตาลทรายขาว ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระจะเป็นสารที่ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้น้ำตาลทรายแดงยังมีกลิ่นหอมเฉพาะตัวที่เป็นเอกลักษณ์และมีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ สูงกว่าน้ำตาลทรายขาวอีกด้วย ทั้งนี้น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกถือเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้รับการถ่ายทอดภูมิปัญญาในการแปรรูปมาจากรุ่นสู่รุ่นกว่า 50 ปี อย่างไรก็ตาม น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกที่ผลิตเพื่อจำหน่ายโดยกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในจังหวัดพังงานั้นยังไม่เคยผ่านการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางจุลินทรีย์มาก่อน ทำให้ไม่มีข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่ใช้เพื่อการพัฒนาและยกระดับผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายแดงจากต้นชก ทั้งนี้ภาพของต้นชกและน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกที่ผลิตโดยกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชก แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ต้นชก และน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก

ที่มา: ธวัชชัย จิตวารินทร์ และคณะ (2565ช: 4)

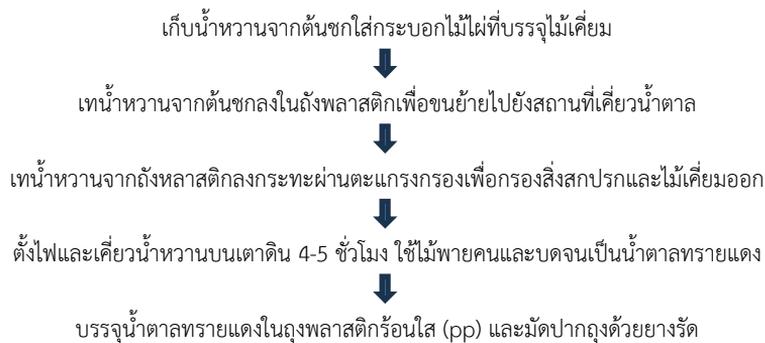
จากประโยชน์และความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 เพื่อการวิจัย ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพเคมี และจุลินทรีย์ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก และเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลผง โดยข้อมูลจากการวิจัยครั้งนี้จะนำไปใช้พัฒนาและยกระดับคุณภาพของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้รับการถ่ายทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นมาอย่างยาวนาน อีกทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชก และมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจชุมชนให้เป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีคุณภาพสูงขึ้นต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบเขตด้านวัตถุดิบ

น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ผลิตโดยเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในพื้นที่ตำบลบ่อแสน และตำบลบางเตย จังหวัดพังงา จำนวน 3 ราย จากทั้งหมด 5 ราย ซึ่งใช้น้ำหวานจากต้นชกที่พบตามธรรมชาติในพื้นที่ดังกล่าวเป็นวัตถุดิบจึงส่งผลให้วัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตน้ำตาลทรายแดงของเกษตรกรแต่ละรายมีส่วนประกอบที่ไม่เหมือนกัน การผลิตน้ำตาลทรายแดงของกลุ่มเกษตรกรเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ภูมิปัญญาแบบพื้นบ้าน

จึงทำให้ วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือในการผลิตจะแตกต่างกันออกไปตามความพร้อมของเกษตรกร เช่น ขนาดกระทะที่เคี้ยวน้ำตาล ขนาดของเตาดินที่ใช้เคี้ยวน้ำตาล ตะแกรงสำหรับกรองน้ำหวานจากต้นชก ระยะเวลาในการคั้นน้ำหวานในกระทะ ขนาดไม้พาย สถานที่ในการผลิตและเก็บผลิตภัณฑ์น้ำตาล เป็นต้น อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกของกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกของกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในพื้นที่ตำบลบ่อแสน อำเภอทับปุด และตำบลบางเตย อำเภอเมือง จังหวัดพังงา

ทั้งนี้เกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกที่เข้าร่วมโครงการวิจัยทั้ง 3 รายประสงค์ที่จะแสดงชื่อ-สกุลและสถานที่ในการผลิตน้ำตาลทรายแดงที่ใช้เป็นตัวอย่างในงานวิจัย คณะผู้วิจัยเก็บตัวอย่างจากเกษตรกรแต่ละรายจำนวน 3 ครั้ง วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design: CRD) เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ณ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพที่ศึกษา คือ วิเคราะห์ค่าสี $L^* a^* b^*$ โดยใช้เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex EZ ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา สภาวะการทดสอบ CIE Lab Scale D65/10⁰ port size 1.25 นิ้ว

การศึกษาคุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าความชื้น (ใช้ Vacuum Oven ยี่ห้อ Memmert รุ่น VO49 ผลิตที่ประเทศเยอรมนีที่อุณหภูมิ 70 °C, pressure ≤ 100 mmHg.) ปริมาณเถ้า (ใช้ Ashing Furnace ยี่ห้อ Nabertherm รุ่น LTV15/11 ผลิตที่ประเทศเยอรมนี ที่อุณหภูมิ 550-600 °C)

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตสโดยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Agilent 1100 ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา (In-house method TE-CH-164 based) ใช้วิธีวิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC 2023 (AOAC, 2023) ค่า aw โดยใช้เครื่อง Water Activity Meter ยี่ห้อ Aqualab รุ่น 4TE ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ค่า pH ใช้ pH Meter ยี่ห้อ SUNTEX รุ่น SP-2300 ผลิตที่ประเทศไต้หวัน) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content :TPC) วิเคราะห์โดยใช้สารละลาย Folin-ciocalteu's phenol reagent และวัดค่าการดูดกลืนแสงตามวิธีของ Felix & Manuel (2020) ด้วย Spectrophotometer ยี่ห้อ Hitachi รุ่น U-2900 ผลิตที่ประเทศญี่ปุ่น และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Free radical scavenging) ด้วยวิธี 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl; DPPH) ดัดแปลงจากวิธีของ Yen & Hsieh (1995) ใช้ตัวอย่างสารละลายน้ำตาล 400 ไมโครลิตรผสมกับสารละลาย DPPH จำนวน 2 มิลลิลิตร (ที่เตรียมจากสารละลาย DPPH 0.12 mM ในเมทานอล 95%) แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer ใช้เมทานอล 80% เป็นสารละลายควบคุม ฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ) คำนวณจากสูตรของ Singh & Rajini (2004) ตามสมการที่ (1) ดังนี้

$$\text{Free Radical Scavenging Activity} = [1 - (As/Ac)] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ As คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

Ac คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายควบคุมที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

การศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ที่ศึกษา ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) ยีสต์ และรา (Yeast and Mold) วิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC (2012) Coliform bacteria *Escherichia Coli* ตามวิธีของ U.S. Food and drug administration (2020)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าข้อมูลทีวิเคราะห์แสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least-Significant Different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 25.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของน้ำตาลทรายแดงที่ผลิต กลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในพื้นที่ตำบลบ่อแสน อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดพังงา จำนวน 3 ราย พบว่า มีคุณภาพทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 1 คุณภาพทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2-4 และ คุณภาพทางจุลินทรีย์แสดงดังตารางที่ 5-6 ดังนี้

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก

ตัวอย่าง	ค่าสี (ค่าเฉลี่ย \pm S.D.)		
	L*	a*	b*
1	31.08 \pm 0.43 ^a	15.24 \pm 0.95 ^a	25.86 \pm 0.91 ^a
2	40.53 \pm 0.60 ^b	16.56 \pm 0.62 ^a	35.08 \pm 0.87 ^b
3	48.52 \pm 1.00 ^c	13.25 \pm 0.61 ^b	33.15 \pm 0.90 ^c
เฉลี่ยรวม	40.05 \pm 7.59	15.02 \pm 1.58	31.36 \pm 4.28

หมายเหตุ: อักษร a-c ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่า L* ซึ่งแสดงถึงความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 และค่า b* ซึ่งแสดงถึงค่าแกนสีจากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*) ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกทั้ง 3 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนค่า a* ซึ่งแสดงถึงค่าแกนสีจากสีเขียว (-a*) จนถึงสีแดง (+a*) ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกในตัวอย่างที่ 1 และ 2 แตกต่างกับตัวอย่างที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ค่าสีน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกที่ผลิตจากกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในจังหวัดพังงา มีค่า L* a* และ b* เฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 40.05 \pm 7.59 15.02 \pm 1.58 และ 31.36 \pm 4.28 ตามลำดับ

ทั้งนี้ค่าสี L* a* b* ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตน้ำตาลโดยใช้ภูมิปัญญาแบบพื้นบ้านจึงทำให้ วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือในการผลิตแตกต่างกันออกไปตามความพร้อมของเกษตรกร อีกทั้งน้ำหวานจากต้นชกที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทรายแดงเก็บได้จากต้นชกตามธรรมชาติจึงทำให้น้ำหวานจากต้นชกที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทรายแดงมีสีและส่วนประกอบต่างๆ มีปริมาณที่แตกต่างกันดังที่กล่าวมาข้างต้นในเรื่องขอบเขตของวัตถุดิบ เช่น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณ

ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณสารแทนนินจากไม้เคี่ยมในกระบอกเก็บน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณแร่ธาตุ เป็นต้น ทั้งนี้ปัจจัยที่กล่าวมาจะส่งผลต่อค่าสี L^* a^* b^* ซึ่งเกิดขึ้นจากการปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 2 แบบ คือ 1. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำหวานที่อยู่ในช่วง 6-8 จะเร่งให้เกิดการเพิ่มของดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning intensity) (Vissers et al., 2017; Karseno et al., 2018) การสัมผัสกับออกซิเจน (Nayaka et al., 2022) ปริมาณเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) (Ogutu, 2017; Han et al., 2022) รวมทั้งปริมาณสารแทนนิน (Han et al., 2022) และ 2. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ด้วยการเกิดปฏิกิริยาการเมลลิวเซชัน (Caramelization) ซึ่งมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นหรือความหวานของน้ำหวานวัตถุดิบ อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน Jie et al., 2024) อุณหภูมิที่ใช้ในการเคี่ยวน้ำตาล ซึ่งหากเคี่ยวในระยะเวลาสั้นและสามารถทำให้น้ำตาลเย็นตัวลงได้เร็วจะทำให้สีน้ำตาลที่ได้มีสีอ่อนกว่า (Jie et al., 2021; Jie et al., 2022) นอกจากนี้การเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกอาจขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำหวานจากต้นชกอีกด้วย จากที่กล่าวมาเห็นได้ว่า มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสีของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก จึงส่งผลให้สีของน้ำตาลทรายแดงที่ผลิตได้มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อศึกษางานวิจัย ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ พบว่า น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีสีเข้มกว่าน้ำตาลทรายแดงที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมซึ่งมีค่า L^* a^* b^* เท่ากับ 59.38 ± 0.70 3.25 ± 0.02 และ 16.28 ± 0.09 ตามลำดับ (Azrina et al., 2020) และยังมีสีเข้มกว่าน้ำตาลจากที่ผลิตโดยเกษตรกรในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่มีค่า L^* a^* b^* เท่ากับ 56.43 ± 0.35 9.03 ± 0.12 และ 26.87 ± 0.15 ตามลำดับ (ดวงเดือน สงฤทธิ์, 2558) นอกจากนี้พบว่า น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใกล้เคียงกับน้ำตาลจากตาลโตนด และน้ำตาลมะพร้าวซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.0-6.0 (ดวงเดือน สงฤทธิ์, 2558; วิเศษนรินทร์ และ บุญทริกา สุมะนา, 2559) ทั้งนี้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำตาลทรายแดงที่อยู่ระหว่าง 6.0-8.0 จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้เร็วขึ้น (Karseno et al., 2018) ซึ่งจะส่งผลให้น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกจะมีสีเข้มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้

ตารางที่ 2 คุณภาพทางเคมีของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก

ตัวอย่าง	คุณภาพทางเคมีของน้ำตาลทรายแดง (ค่าเฉลี่ย \pm S.D.)			
	ความชื้น (%)	aw	เถ้า (%)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
1	5.86 \pm 0.02 ^a	0.68 \pm 0.01 ^a	1.30 \pm 0.08 ^a	5.08 \pm 0.03 ^{a,b}
2	5.91 \pm 0.05 ^a	0.64 \pm 0.01 ^b	0.78 \pm 0.02 ^b	5.13 \pm 0.04 ^a
3	3.84 \pm 0.05 ^b	0.64 \pm 0.02 ^b	0.83 \pm 0.07 ^b	5.06 \pm 0.03 ^b
เฉลี่ยรวม	5.20 \pm 1.02	0.66 \pm 0.21	0.97 \pm 0.25	5.09 \pm 0.04

หมายเหตุ: อักษร a-c ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 2 พบว่า น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกที่ผลิตจากกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในจังหวัดพังงามีค่าความชื้น ค่า aw ปริมาณเถ้า และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 5.20 \pm 1.02, 0.66 \pm 0.21, 0.97 \pm 0.25 และ 5.09 \pm 0.04 ตามลำดับ ค่าความชื้นของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกตัวอย่างที่ 1 และ 2 แตกต่างกับตัวอย่างที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า aw ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกตัวอย่างที่ 1 แตกต่างกับตัวอย่างที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าความเป็น กรด-ด่าง (pH) ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกตัวอย่างที่ 1 ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกตัวอย่างที่ 2 แตกต่างกับตัวอย่างที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อพิจารณามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2561ก, 2561ข, 2561ค, 2561ง) พบว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนดังกล่าวไม่ได้กำหนดค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) รวมทั้งปริมาณเถ้าที่ต้องการไว้แต่จะกำหนดเฉพาะค่า aw ให้มีค่าไม่เกิน 0.6 เท่านั้น อย่างไรก็ตามพบว่า ค่าความชื้นของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Orlandi et al. (2017) ที่พบว่าน้ำตาลทรายแดงจากอ้อยมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.3–7.4 แต่อย่างไรก็ตามค่าความชื้นของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีค่าความชื้นสูงกว่าน้ำตาล ทรายแดงที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรมจากบริษัท Central Sugars Refinery SDN BHN ซึ่งเป็นบริษัทผลิตน้ำตาลรายใหญ่ของประเทศมาเลเซีย (Azrina et al., 2020) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย Maryani et al. (2021) ที่พบว่าน้ำตาลจากตาลโตนด และน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตในระดับครัวเรือนในเขตจังหวัดบันเติน (Banten) ประเทศอินโดนีเซียมีค่าความชื้นเพียงร้อยละ 1.49 และร้อยละ 0.78 ตามลำดับ ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ค่าความชื้นของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีค่าสูงกว่าอาจเนื่องมาจากการ

ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเคี้ยวน้ำตาลส่งผลให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งตอนท้ายของกระบวนการผลิตมีการยกกระทะเคี้ยวน้ำตาลลงจากเตาเพื่อมาบดให้เป็นน้ำตาลผงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Orlandi et al. (2017) ที่พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเกินไปในช่วงท้ายของการผลิตน้ำตาลทรายแดงส่งผลให้น้ำตาลมีปริมาณความชื้นและค่า aw ที่สูงขึ้น นอกจากนี้พบว่า น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีปริมาณเถ้าใกล้เคียงกับงานวิจัยของมยุรา วชิรศักดิ์ชัย (2559) Maryani et al. (2021) และ Orlandi et al. (2017) ทั้งนี้ค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่า aw และปริมาณเถ้าของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือในการผลิตของเกษตรกรแต่ละรายแตกต่างกันออกไป อีกทั้งน้ำหวานจากต้นชกที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทรายแดงเก็บได้จากต้นชกตามธรรมชาติจึงทำให้น้ำหวานมีสีและส่วนประกอบต่างๆ แตกต่างกันดังที่กล่าวมาข้างต้น

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก

ตัวอย่าง	สารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ค่าเฉลี่ย \pm S.D.)	
	TPC (mgGAE/100g)	DPPH radical scavenging activity (%)
1	317.07 \pm 1.27 ^a	25.61 \pm 0.71 ^a
2	219.92 \pm 3.38 ^b	17.57 \pm 0.16 ^b
3	219.56 \pm 3.31 ^b	16.20 \pm 0.22 ^b
เฉลี่ยรวม	252.18 \pm 48.73	20.13 \pm 4.13

หมายเหตุ: อักษร a-c ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 3 พบว่า น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกที่ผลิตจากกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในจังหวัดพังงามีค่าสารประกอบฟีนอลิก (TPC) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 252.18 \pm 48.73 และ 20.13 \pm 4.13 ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกตัวอย่างที่ 1 แตกต่างกับตัวอย่างที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับน้ำตาลทรายแดงจากประเทศมาเลเซียแต่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่า (Azrina et al., 2020) อีกทั้งพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก มีปริมาณมากกว่าน้ำตาล

ทรายดิบจากต้นตาลโตนตที่ผลิตในแคว้นสินธ์ (Sindh) และแคว้นปัญจาบ (Punjab) ประเทศปากีสถาน (Munawar et al., 2017) อย่างไรก็ตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งจะส่งผลให้น้ำตาลมีสีเข้มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษาได้ (Han et al., 2022) ทั้งนี้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Azrina et al. (2020) Jong et al. (2018) และ Munawar et al. (2017) ที่พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำตาลจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ที่มีในน้ำตาล

ตารางที่ 4 ปริมาณของน้ำตาลที่พบในน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก

ตัวอย่าง	ปริมาณของน้ำตาลที่พบในน้ำตาลทรายแดง (ค่าเฉลี่ย \pm S.D.)			
	Total sugar (%)	Fructose (%)	Glucose (%)	Sucrose (%)
1	82.90 \pm 1.00 ^a	1.74 \pm 0.08 ^a	2.39 \pm 0.04 ^a	78.77 \pm 0.67 ^a
2	81.10 \pm 0.49 ^b	2.18 \pm 0.07 ^b	3.06 \pm 0.09 ^b	75.86 \pm 0.41 ^b
3	86.03 \pm 0.78 ^c	1.68 \pm 0.06 ^{a,c}	1.45 \pm 0.05 ^c	82.90 \pm 0.53 ^c
เฉลี่ยรวม	83.43 \pm 2.27	1.87 \pm 0.24	2.30 \pm 0.71	79.18 \pm 3.10

หมายเหตุ: อักษร a-c ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4 พบว่า น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกที่ผลิตจากกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปน้ำตาลชกในจังหวัดพังงามีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลฟรุคโตส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลซูโครส เท่ากับร้อยละ 83.43 \pm 2.27, 1.87 \pm 0.24, 2.30 \pm 0.71, 79.18 \pm 3.10 ตามลำดับ ทั้งนี้ น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกทั้ง 3 ตัวอย่าง มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และปริมาณน้ำตาลซูโครสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยพบว่า น้ำตาลที่พบมากที่สุด คือซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากน้ำหวานจากต้นชกที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตเก็บได้จากต้นชกตามธรรมชาติจึงทำให้น้ำหวานส่วนประกอบของชนิดน้ำตาลที่แตกต่างกัน อีกทั้งระยะเวลาที่เก็บน้ำตาลจากต้นชกและระยะเวลาในการเคี้ยวน้ำตาลก็จะส่งผลต่อการไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed) ของน้ำตาลซูโครส ซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตสด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ชนิดและปริมาณของน้ำตาลที่พบในน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำตาลจากตาลโตนต และน้ำตาลมะพร้าว (Maryani et al., 2021) ที่พบน้ำตาลซูโครสมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตส ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตส น้อยกว่าน้ำตาลจากตาลโตนดและน้ำตาลมะพร้าว ดังนั้นการบริโภคน้ำตาลทรายแดงจาก น้ำตาลชกจะเป็นประโยชน์ และเกิดผลดีต่อสุขภาพมากกว่า เนื่องจากงานวิจัยของ Bettina et al. (2020) Beatriz et al. (2020) และ Hieronimus et al. (2020) ที่พบว่า น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตสเป็นสาเหตุให้เกิดไขมันพอกตับ ซึ่งเสี่ยงต่อการเกิดโรคตับแข็งและมะเร็ง ตับต่อไป ทั้งยังเพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดและหัวใจอีกด้วย

ตารางที่ 5 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก

ตัวอย่าง	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำตาลทรายแดง (ค่าเฉลี่ย \pm S.D.)			
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) (CFU/g)	Yeast and Mold (CFU/g)	Coliform bacteria (CFU/g)	E. Coli (MPN/g)
1	5.33 \pm 1.15 ^a	5.33 \pm 0.58 ^a	2.44 \pm 0.58 ^a	2.33 \pm 0.58 ^a
2	32.67 \pm 2.08 ^b	5.33 \pm 1.53 ^a	2.33 \pm 1.53 ^a	2.33 \pm 0.58 ^a
3	21.33 \pm 3.06 ^c	4.33 \pm 0.58 ^a	2.67 \pm 0.58 ^a	2.00 \pm 1.00 ^a
เฉลี่ยรวม	19.78 \pm 12.05	5.00 \pm 1.00	2.44 \pm 0.88	2.22 \pm 0.67

หมายเหตุ: อักษร a-c ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

น้ำตาลทรายแดง	คุณภาพของน้ำตาลทรายแดงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count)	ยีสต์และรา (Yeast and Mold)	aw
น้ำตาลทรายแดงจากต้นชก	< 100 CFU/g	< 10 CFU/g	0.66 \pm 0.21
น้ำตาลโตนดผง			
น้ำตาลจากผง			
น้ำตาลมะพร้าวผง และน้ำตาล	< 500 CFU/g	< 100 CFU/g	ต้องไม่เกิน 0.6
อ้อยผง (มพช. 113, 758, 5, 759/2561)			

จากตารางที่ 5 และตารางที่ 6 พบว่า น้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีปริมาณจุลินทรีย์ ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำตาลผง ส่วนค่า aw ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยจะมี

ความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษานั้นมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนดอยู่เล็กน้อย ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าอาจเนื่องมาจากอากาศและความชื้นผ่านเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ที่เกษตรกรผู้แปรรูปใช้บรรจุน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกซึ่งเป็นเพียงถุงโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) แล้วมัดด้วยยางรัดที่ปากถุงเท่านั้น อีกทั้งการส่งตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์ ณ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต้องใช้ระยะเวลาในการขนส่งไปถึงกระบวนการตรวจวิเคราะห์รวมทั้งสิ้น 8-10 วัน จึงอาจทำให้ค่าความชื้นและค่า aw สูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกกับประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร, 2560) ที่กำหนดให้อาหารผ่านกรรมวิธีต้องมี *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/g ซึ่งจากผลการศึกษาคูณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชก พบว่า คุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นไปตามระเบียบและข้อบังคับที่กล่าวมาทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามเหตุที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกในตัวอย่างที่ 1 แตกต่างกับตัวอย่างที่ 2 และ 3 นั้นอาจเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความแตกต่างของวัสดุ อุปกรณ์สถานที่ผลิตและบรรจุ สุขอนามัยส่วนบุคคล วิธีการล้างทำความสะอาดมือ อุปกรณ์ ความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า aw ร่วมกับคุณภาพด้านจุลินทรีย์ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลแดงแล้วถือว่าน้ำตาลทรายแดง จากต้นชกยังมีความปลอดภัยในการบริโภค แต่อาจจะมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้พบว่าน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกมีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนี้ คุณภาพทางกายภาพด้านค่าสี (L^* , a^* , b^*) มีค่าเท่ากับ 40.05 ± 7.59 , 15.02 ± 1.58 และ 31.36 ± 4.28 ตามลำดับ ด้านคุณภาพทางเคมี พบความชื้นร้อยละ 5.20 ± 1.02 ค่า aw 0.66 ± 0.21 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.09 ± 0.04 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 252.18 ± 48.73 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ร้อยละ 20.13 ± 4.13 ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 83.43 ± 2.27 ประกอบด้วยซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส (ร้อยละ 79.18 ± 3.10 , 2.30 ± 0.71 และ 1.87 ± 0.24 ตามลำดับ) ด้านจุลินทรีย์พบว่าปริมาณ

จุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อย่างไรก็ตามค่า aw ที่สูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อยอาจส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา และส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง ทั้งนี้การยกระดับคุณภาพของน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกควรมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตและสุขลักษณะการผลิต โดยใช้ผลการวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการยกระดับคุณภาพการผลิตน้ำตาลทรายแดงจากต้นชกของผู้ประกอบการในจังหวัดพังงาเพื่อการผลิตที่มีคุณภาพและยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนรวม) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่สนับสนุนงบประมาณประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 สำหรับโครงการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

เกษตรอินทรีย์. (2565). *ลูกชกผลไม้โบราณนานกว่าจะออกลูก*. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 มกราคม 2567, จาก www.kasetorganic.com/knowledge/sugar-palm/#:~:text=วันก่อนเขียนเรื่อง%20มะพร้าว,ต้องรออีก%20%20ปี.

ดวงเดือน สงฤทธิ์. (2558). *การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำตาลจากต้นชก*. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

ธวัชชัย จิตวารินทร์, ลภัสสรดา จิตวารินทร์, บุญชัย เมฆแก้ว, เบญจกาญจน์ นิรัตศิัย, กัญญาภักดิ์ นันทชัย, ภัทรวรรต ศรีบุญจิต และ ชุฟเพียนี สนิ. (2565ก). *การพัฒนาผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชก*. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 17(3), 75-85.

ธวัชชัย จิตวารินทร์, ลภัสสรดา จิตวารินทร์, บุญชัย เมฆแก้ว, เบญจกาญจน์ นิรัตศิัย, กัญญาภักดิ์ นันทชัย, ภัทรวรรต ศรีบุญจิต และ ชุฟเพียนี สนิ. (2565ข). *การพัฒนาเส้นใยก้านช่อดอกชกต่อยอดภูมิปัญญาสู่การ พัฒนานวัตกรรมเพื่อชุมชน*. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). กรุงเทพฯ: สถาบันวิทยาลัยชุมชน.

มยุรา วชิรศักดิ์ชัย. (2559). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

- ยุพารัตน์ โปธิเศษ และ เนวิชญาณี วุฒินิธินานนท์. (2564). ชนิดและปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแยมลูกหม่อน. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 39(2), 165-171.
- รวีศ ทศคร. (2564). *สารระวิทย์ โดย สวทช : ชิดเอย ชิดชม ลูกชิดต้นตัว ต้นไม้มหัศจรรย์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2567, จาก <https://www.nstda.or.th/sci2pub/arecaceae/>.
- วิเศษ นิลนนท์ และ บุญทริกา สุขะนา. (2559). การพัฒนาการผลิตน้ำตาลมะพร้าวในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่น. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 10(3), 49-54.
- สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร. (2560). *เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร และภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560)*. กรุงเทพฯ: บริษัทพีทู ดีไซน์ แอนด์ พรินท์ จำกัด.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2561ก). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลโตนด มผช. 113/2561*. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2567, จาก [https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0113_61\(น้ำตาลโตนด\).pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0113_61(น้ำตาลโตนด).pdf).
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2561ข). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลจาก มผช. 758/2561*. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2567, จาก [https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0758_61\(น้ำตาลจาก\).pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0758_61(น้ำตาลจาก).pdf).
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2561ค). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลมะพร้าว มผช. 5/2561*. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2567, จาก [https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0005_61\(น้ำตาลมะพร้าว\).pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0005_61(น้ำตาลมะพร้าว).pdf).
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2561ง). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลอ้อย มผช. 759/2561*. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2567, จาก [https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0759_61\(น้ำตาลอ้อย\).pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0759_61(น้ำตาลอ้อย).pdf).
- AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International*. (19th ed). Washington DC: AOAC.
- AOAC. (2023). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International*. (22nd ed). Washington DC: AOAC.

- Azrina, A., Hock, E. K., Azliana, A. B. S., Noor, A. A. K., Barakatun, N. M. Y., Zhafarina, M., & Sultana, S. (2020). Antioxidant activity, nutritional and physicochemical characteristics, and toxicity of minimally refined brown sugar and other sugars. *Food Science and Nutrition*, 8(9), 5048–5062.
- Beatriz, M., Cristina, M. F., Irene, C., & German, P. (2020). Intestinal fructose and glucose metabolism in health and disease. *Nutrients*, 12(1), 94-129.
- Bettina, H., Valentina, M., Andrew, A. B., Vivien, L., Marinelle, V. N., Desiree, M. S., Keim, N. L., Havel, P. J. & Stanhope, K. L. (2020) et al. Synergistic effects of fructose and glucose on lipoprotein risk factors for cardiovascular disease in young adults. *Metabolism Clinical and Experimental*, 112(11), 1-9.
- Felix, B. & Manuel, G. (2020). *Total Phenolics*. In: Felix, B., Gessner, M. O., & Manuel, G. (Eds.), *Methods to Study Litter Decomposition: A Practical Guide*, (p. 157-161). Cham: Springer International Publishing.
- Han, Z., Zhu, M., Wan, X., Zhai, X., Ho, C. T., & Zhang, L. (2022). Food polyphenols and Maillard reaction: regulation effect & chemical mechanism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(11), 1-17.
- Haniyah, F. and Purwani, E. (2022). The Effect of Brown Sugar Addition on Total Acid, pH, and Antioxidant Activity of Young Coconut Water (*Cocos nucifera* L.) Probiotic Drinks. In: *Proceedings of the International Conference on Health and Well-Being*. 5-6 December 2022, Muhammadiyah University of Surakarta, Indonesia. 120-132.
- Hieronimus, B., Medici, V., Bremer, A. A., Lee, V., Nunez, M. V., Sigala, D. M., Keim, N. L., Havel, P. J. & Stanhope, K. L. (2020). Synergistic effects of fructose and glucose on lipoprotein risk factors for cardiovascular disease in young adults. *Metabolism Clinical and Experimental*, 112(9), 1-22.
- Jie, L., Peng, W., Caifeng, X., Qinzhi, W., & De-Wei, C. (2024). Brown sugar aroma: Key aroma-active compounds, formation mechanisms and influencing

- factors during processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 128(4), 12-21.
- Jie, L., Peng, W., Wenjie, Z., Caifeng, X., Qinzhi, W., & De-Wei, C. (2022). Investigation on taste-active compounds profile of brown sugar and changes during lime water and heating processing by NMR and e-tongue. *LWT-Food Science and Technology*, 165(8), 1-11.
- Jie, L., Peng, W., Caifeng, X., & De-Wei C. (2021). Key aroma-active compounds in brown sugar and their influence on sweetness. *Food Chemistry*, 345(5), 240-247.
- Jong, S. L., Srinivasan, R., Il G. J., Ye, S. K., Ashutosh, B., Young, S. O., O-Jun, K., & Kim, M. (2018). Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. *Food Research International*, 109(3), 159-167.
- Karseno, K., Erminawati, W., Yanto, T., Setyowati R., & Haryanti, P. (2018). Effect of pH and temperature on browning intensity of coconut sugar and its antioxidant activity. *Food Research*, 2(1), 32-38.
- Kongkaew, S., Chaijan, M., & Riebroy, S. (2014). Some Characteristics and Antioxidant Activity of Commercial Sugars Produced in Thailand. *Journal KMITL Science and Technology*, 14(1), 1-9.
- Maryani, Y., Rochmat, A., Khastini, R., Kurniawan, T. and Saraswati, I. (2021) Identification of Macro Elements (Sucrose, Glucose and Fructose) and Micro Elements (Metal Minerals) in the Products of Palm Sugar, Coconut Sugar and Sugar Cane. In: *Joint proceedings of the 2nd and the 3rd International Conference on Food Security Innovation 2018-2019*, 8-9 September 2019, Ledian Hotel Serang Banten, Indonesia. 271-274.
- Munawar. I., Afzal Q. M., Tanveer, H. B., Mazhar, A., Fida, H., Nasir, M., Ali, K., Naseem, Q., & Arif, N. (2017). Total phenolic, chromium contents and antioxidant activity of raw and processed sugars. *Information Processing in Agriculture*, 4(1), 83-89.

- Nayaka, V. S. K., Tiwari, R. B., Narayana, C. K., Ranjitha, K., Shamina, A., Vasugi, C. R., Venugopalan, C. R., Bhuvanewari, S., & Sujayasree, O. J. (2022). Comparative effect of different sugars instigating non-enzymatic browning and Maillard reaction products in guava fruit leather. *Journal of Horticultural Sciences*, 17(1), 174-183.
- Ogutlu, B., Kim, Y. J., Kim, D. W., Oh, S. C., Hong, D. L., & Lee, Y. B. (2017). Optimization of maillard reaction between glucosamine and other precursors by measuring browning with a spectrophotometer. *Preventive Nutrition and Food Science*, 22(3), 211-215.
- Orlandi, R., Verruma-Bernardi, M., Sartorio, S., & Borges, M. T. (2017). Physicochemical and sensory quality of brown sugar: Variables of processing study. *Journal of Agricultural Science*, 9(2), 1115-1121.
- Singh, N. & Rajini, P. S. (2004). Free radical scavenging activity of anaqueous extract of potato peel. *Food Chemistry*, 85(4), 611-616.
- U.S. Food and drug administration. (2020). *Bacteriological Analytical Manual (BAM): Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and the Coliform Bacteria*. Retrieved March 29, 2024 from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>.
- Vissers, A., Kiskini, A., Hilgers, R., Marinae, M., Wierenga, P. A., Gruppen, H., & Vincken, J. P. (2017). Enzymatic browning in sugar beet leaves (*Beta vulgaris* L.): Influence of caffeic acid derivatives, oxidative coupling, and coupled oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(24), 4911-4920.
- Yen, G. C., & Hsieh, P. P. (1995). Antioxidative activity and scavenging effects on active oxygen of xylose-lysine Maillard reaction-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67(3), 415-420.

ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคผิวหนัง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์

ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาบโลดทะนงแดง

ANTIMICROBIAL SKIN PATHOGENS, ANTI-OXIDANT AND ANTI-TYROSINASE
ACTIVITIES OF *TRIGONOSTEMON REIDIOIDES* (KURZ) CRAIB CRUDE EXTRACTS

สุภัสสร วันสุทะ* และ อรณิชา ครองยุติ

Supasson Wansutha* and Ornnicha Krongyut

สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Bachelor of Thai Traditional Medicine Program, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University

Received: 23 August 2024

Revised: 15 October 2024

Accepted: 17 October 2024

บทคัดย่อ

โลดทะนงแดงเป็นสมุนไพรพื้นบ้านที่มีสรรพคุณถอนพิษ แก้พิษงู แก้ฟกช้ำ เคล็ดบวม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งจุลชีพก่อโรคทางผิวหนัง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิกของสารสกัด รากโลดทะนงแดง โดยการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งจุลชีพด้วยวิธี broth microdilution และการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ผลการทดลองพบว่าสารสกัดเอทานอลจากรากโลดทะนงแดงมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรค ผิวหนังโดยสามารถยับยั้งเชื้อจุลชีพได้ทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยยับยั้งเชื้อ *Candida albicans* ATCC10231 ได้ดีที่สุด (MIC: 31.25 mg/mL, MBC: 31.25 mg/mL) รองลงมา คือการยับยั้ง เชื้อ *Staphylococcus aureus* ATCC25923 และ *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853 (MIC: 250 mg/mL, MBC: 500 mg/mL) ดังนั้นสารสกัดที่ได้จากรากโลดทะนงแดงสามารถ นำมาใช้เป็นสารยับยั้งและฆ่าเชื้อโรคที่ก่อโรคผิวหนังได้ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 623.28±7.37 µg/mL เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก และยังสามารถ ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 809.63±65.22 µg/mL เปรียบเทียบกับ สารมาตรฐานกรดโคจิกซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) และสาร

* Corresponding author: นางสาวสุภัสสร วันสุทะ

E-mail: Supasson.wa@udru.ac.th

สกัดโสดทนงแดงยังมีปริมาณสารสำคัญในสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 18.66 ± 0.07 mg QE/g extract และมีปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิก เท่ากับ 10.22 ± 0.13 mg GAE/g extract งานวิจัยนี้จึงเป็นการรายงานผลของสารสกัดโสดทนงแดงที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เวชสำอางบำรุงผิวได้และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้สมุนไพรในท้องถิ่นนำไปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรทางเลือกให้กับผู้บริโภคและสร้างมูลค่าทางเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพ, ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส, โสดทนงแดง

Abstract

Trigonostemon reidioides (Kurz) Craib or Lod-thanong-deang was Thai traditional herb that properties of detoxifying, antivenin, bruise, sprains and swelling. This research aimed to determine antimicrobial, antioxidant, tyrosinase, total flavonoids content and total phenolics content of Lod-thanong-deang. The extracts were prepared by using solvents 95% ethanol. The anti-microorganisms was determined by broth microdilution method and antioxidant activity was determined by 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH assay). From the results, it was found that inhibit on 3 strains of microorganisms were *Candida albicans* ATCC10231 (MIC: 31.25 mg/mL, MBC: 31.25 mg/mL), *Staphylococcus aureus* ATCC25923 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853 (MIC: 250 mg/mL, MBC: 500 mg/mL) respectively Therefore, Lod-thanong-deang extracted inhibition and antimicrobial activity. Antioxidant activity determined by DPPH assay (IC_{50} value of 623.28 ± 7.37 μ g/mL) compared with ascorbic acid. Moreover, it exhibited the strongest tyrosinase inhibition activity (IC_{50} value of 809.63 ± 65.22 μ g/mL) compared with Kojic acid, which was statistically significantly different (p -value < 0.05) and the highest total phenolic and flavonoid content (total flavonoids content to 18.66 ± 0.07 mg QE/g extract and total phenolics content to 10.22 ± 0.13 mg GAE/g extract). This research demonstrates that Lod-thanong-deang is

considered to be an interesting source of bioactive compounds and may be an alternative herb for cosmetic applications for value herbs alternative products for consumers.

Keywords: Anti-oxidant activity, Antimicrobial activity, Anti-tyrosinase activity
Trigonostemon reidioides (Kurz) Craib

บทนำ

โลดทะนงแดงชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Trigonostemon reidioides* (Kurz) Craib จัดอยู่ในวงศ์ EUPHORBIACEAE เป็นสมุนไพรไม้พุ่มขนาดเล็ก มีรากสะสมอาหารพองโต ผิวสีแดงอมม่วง เนื้อสีขาว สามารถพบได้ตามป่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพื้นที่ป่าบ้านน้ำโมง ตำบลน้ำโมง อำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย ตำรายาไทยใช้ราก มีรสร้อน ฝนน้ำกิน ทำให้อาเจียน เพื่อถอนพิษคนกินยาเบื่อ เมทาพิษเห็ดและหอย แก้วพิษงู แก้วเสมหะเป็นพิษ แก้วหืด แก้ววิณโรค เป็นยาระบาย ฝนเกลือหิน หรือดูดหนองถ้าฝีแตก แก้วฟกซ้ำ เคล็ดบวม แก้วปวดฝี คุมกำเนิด ต้มดื่ม แก้ววิณโรค ฝนกับน้ำมะนาว หรือสุรา รับประทานแก้วพิษงู ฝนทาแก้ฟกซ้ำ เคล็ดขัดยอก (กรมวิชาการ, 2542) และตำรายาพื้นบ้านใช้ราก เข้ายากับน้ำมะนาว ฝนกับน้ำดื่ม แก้วผิดสำแดง พิษแมงมุม ทำให้อาเจียน ถอนพิษเบื่อเมา เหง้า ฝนทา แก้วสิว ฝน และฟกซ้ำ เคล็ดบวม (กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 2561) และมีรายงานวิจัยพบว่า รากโลดทะนงแดงมีการนำมารักษาผู้ป่วยที่ถูกสัตว์พิษและงูกัดในโรงพยาบาลกาบเชิง และโรงพยาบาลพนมดงรักเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา จังหวัดสุรินทร์ โดยการใช้ตำรับยาโลดทะนงแดง จำนวน 22 ราย พบว่าหลังจากได้รับยาสมุนไพร ผู้ป่วยจำนวน 17 ราย ร้อยละ 77.3 ไม่ได้รับยาแก้ปวด เนื่องจากไม่มีอาการปวดแผลและทุกรายไม่มีอาการแทรกซ้อนหรือเสียชีวิต (ดวงแก้ว ปัญญา และ กฤษณะ คตสุข, 2561) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยในสัตว์ทดลอง ด้วยการให้สมุนไพรโลดทะนงแดงและฉีดพิษงูเข้าหนูทดลองพบว่าสารสกัดโลดทะนงแดง สามารถช่วยยืดอายุการตายของหนูได้ (Utsintong et al., 2009) โดยสารจากโลดทะนงแดงสามารถช่วยจับกับโปรตีนพิษงูได้จริง (พรพิมล พลคำ และคณะ, 2561)

สารสำคัญของรากโลดทะนงแดงประกอบด้วยสาร trigonostemone, lotthanongine, reidiocides A, reidiocides B, reidiocides C, reidiocides D, reidiocides E, diterpenoid

ซึ่งเป็นสารสำคัญซึ่งสกัดได้จากส่วนของรากโสดทะเลแดงมีคุณสมบัติต้านจุลชีพและแก้อักเสบ (Jayasuriya et al., 2004) ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการนำโสดทะเลแดงมาศึกษาคุณสมบัติต้านจุลชีพที่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคผิวหนังอักเสบ และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ของโสดทะเลแดงในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (จินดาพร คงเดช, 2551) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระหรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (Birben et al., 2012) ซึ่งเราต้องเผชิญกับมลภาวะต่างๆ รวมทั้งรังสี แสงแดด ฝุ่นควัน เป็นต้นกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระส่งผลให้เกิดริ้วรอย ผิวหมองคล้ำ ฝ้า และโรคทางระบบผิวหนัง ดังนั้นสรรพคุณบำรุงผิวของโสดทะเลแดงจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งในการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรแบบที่เรีย *S. aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่อาศัยอยู่บริเวณเยื่อหุ้มของร่างกายปกติ เมื่อผิวหนังมีบาดแผลและมีสิ่งแปลกปลอมเชื้อจะสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ และทำให้เกิดโรคได้ทั้งจากการที่เชื้อกระจายไปตามกระแสเลือดหรือเชื้อทำลายเนื้อเยื่อเฉพาะที่ทำให้เกิดการอักเสบที่ผิวหนัง (กรมควบคุมโรค, 2556) แบคทีเรีย *P. aeruginosa* เป็นแบคทีเรียแกรมลบก่อให้เกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาลเครื่องมือทางการแพทย์ และทำให้เกิดการติดเชื้อใต้ผิวหนัง อาการต่อมขนอักเสบ (folliculitis) มีอาการผิวดังเป็นผื่นแดงขึ้นตามตัว เป็นฝี (Itah et al., 2005) และ *C. albicans* เป็นเชื้อรากลุ่มยีสต์ที่พบอยู่ในช่องปาก ในช่องคลอด ก่อโรคที่ผิวหนังจะทำให้มีผื่นแดง คัน ลามออกเป็นวงเล็กๆ บริเวณที่พบผื่นได้บ่อยคือ ใต้ราวนม ขาหนีบ ซอกกันซอกรักแร้ ซอกคอและซอกนิ้ว บางครั้งพบรูขุมขนอักเสบและตุ่มหนองร่วมด้วย (Peters et al., 2010)

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) มีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระหรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระในภาวะปกติร่างกายของมนุษย์มีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระโดยการสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณสารอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุลและอีกส่วนได้จากร่างกายรับประทานเข้าไปจำพวกวิตามิน เบต้าแคโรทีน และสารกลุ่มแคโรทีนอยด์รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล ส่วนใหญ่พบจากพืช (Carlsen et al., 2010) เอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) เป็นเอนไซม์ที่พบได้ในธรรมชาติทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาการสร้างเม็ดสี (melanin) โดยในเซลล์ผิวหนังเมลานินมีหน้าที่สำคัญในการป้องกันผิวหนังจากแสงแดด แต่ถ้า

มีการผลิตเมลานินมากเกินไปจนอาจก่อให้เกิดโรคความผิดปกติของสีผิวได้ ดังนั้นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสจะสามารถช่วยลดปริมาณเมลานินที่มากเกินไปได้ (Chan et al., 2008) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดหยาบจากรากโศดทะนงแดงเพื่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรบำรุงผิว ได้แก่ การศึกษาฤทธิ์ยับยั้งจุลชีพก่อโรคทางผิวหนัง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และ การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดโศดทะนงแดง เพื่อยืนยันฤทธิ์ของสมุนไพรในท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรทางเลือกให้กับผู้บริโภคและสร้างมูลค่าเชิงพาณิชย์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร

เก็บสมุนไพรโศดทะนงแดง (*Trigonostemon reidioides* (Kurz) Craib) ส่วนรากสดจากป่าชุมชน บ้านน้ำโมง อำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย มาล้างทำความสะอาดโดยล้างน้ำสะอาด 1 รอบ แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 1 รอบ และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ผึ่งลมที่อุณหภูมิห้องให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง และบดให้ละเอียดนำไปสกัดด้วยวิธีการหมัก (maceration) ดัดแปลงจาก Sharma et al. (2018) ด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยใช้อัตราส่วน 1:5 ส่วน ประกอบด้วยผงรากโศดทะนงแดง 1 กิโลกรัม ต่อตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 5 ลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง และกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (what man no.1) แยกส่วนกากแล้วนำมาสกัดซ้ำอีก 3 ครั้ง จากนั้นนำส่วนสารสกัดที่ละลายออกมากับตัวทำละลายที่แยกได้จากการกรองนำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) คำนวณหาร้อยละผลผลิตของสารสกัด (%yield) แล้วเก็บสารสกัดไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทำการศึกษาริธีต่อไป

2. การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคผิวหนัง

2.1 การเตรียมเชื้อจุลชีพ

แบคทีเรีย *S. aureus* ATCC25923 ทำการทดลองโดยการเชื้อโคโลนีของเชื้อจาก stock เชื้อในอาหาร Mueller Hinton agar (MHA; ยี่ห้อ Himedia™, ประเทศ India) ลงในอาหาร Tryptic soy broth (TSB; ยี่ห้อ Himedia™, ประเทศ India) บ่มอุณหภูมิ 37

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเชื้อเชื้อลงในอาหาร TSB อีก 1 รอบ บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

แบคทีเรีย *P. aeruginosa* ATCC27853 ทำการทดลองโดยการเชื้อโคลนนิ่งของเชื้อจาก stock เชื้อในอาหาร Mueller Hinton agar (MHA; ยี่ห้อ Himedia™, ประเทศ India) ลงในอาหาร Tryptic soy broth (TSB; ยี่ห้อ Himedia™, ประเทศ India) บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic jar) จากนั้นเชื้อเชื้อลงในอาหาร TSB อีก 1 รอบ บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เชื้อยีสต์ *C. albicans* ATCC10231 ทำการทดลองโดยการเชื้อโคลนนิ่งของเชื้อจาก stock เชื้อในอาหาร Sabouraud Dextrose agar (SDA; ยี่ห้อ Himedia™, ประเทศ India) ลงในอาหาร Sabouraud Dextrose broth (SDB; ยี่ห้อ Himedia™, ประเทศ India) บ่มอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic jar) จากนั้นเชื้อเชื้อลงในอาหาร SDB อีก 1 รอบ บ่มอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2 การทดสอบความเข้มข้นของสารในระดับต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อจุลชีพ (Minimum Inhibitory Concentration : MIC)

ทำการทดสอบหาค่า MIC ด้วยวิธี Broth dilution method ดัดแปลงจาก Balouiri et al. (2016) โดยทำการเจือจางสารสกัดหยาบรากโสดทงนางแดงอย่างเป็นลำดับ ส่วน (Two-fold dilution) ซึ่งมีความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 500, 250, 125, 62.5, 31.25, 15.62, 7.81, 3.90 และ 1.95 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารสกัดละลายด้วย DMSO ความเข้มข้น 1% เติมนลงใน 96 Well plate ปริมาตรหลุมละ 50 ไมโครลิตร และเติมเชื้อทดสอบโดยวัดปริมาณเชื้อเท่ากับ 1.5×10^8 CFU/mL (0.5 MacFarland standard) เจือจางกับอาหาร MHB สำหรับการทดสอบในแบคทีเรีย และอาหาร SDB สำหรับการทดสอบในเชื้อรา โดยเติมเชื้อปริมาตรหลุมละ 50 ไมโครลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ บ่มเชื้อแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และเชื้อราที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำงานเพาะเชื้อมาตรวจสอบการเจริญของเชื้อซึ่งค่า MIC คือค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่ไม่ปรากฏการเจริญของเชื้อบนหลุมอาหาร โดยมียาปฏิชีวนะเตตราไซคลิน (Tetracyclines) เป็นตัวควบคุม (control)

2.3 การทดสอบความเข้มข้นของสารในระดับต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Minimum Bactericidal Concentration: MBC)

ทำการทดสอบด้วยวิธี Streak plate method ดำเนินต่อจากวิธี Broth dilution method จากการทดสอบ MIC นำความเข้มข้นของสารสกัดต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์มาใช้ในการทดสอบ โดยการนำหลุมใสของ MIC มาเขี่ย (streak) ลงบนหน้าอาหารแข็ง โดยอาหาร MHA สำหรับเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย จากนั้นนำไปบ่มเชื้อ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และอาหาร SDA สำหรับเลี้ยงเชื้อรา นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบการเจริญของเชื้อเพื่อตรวจสอบฤทธิ์ทำลายจุลินทรีย์ โดยค่า MBC คือค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่ทำให้ไม่ปรากฏการเจริญของเชื้อในจานอาหารที่ทดสอบ

3. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดัดแปลงจาก Chu et al. (2000) โดยเตรียมสารสกัดโพลีฟีนอลในเมทานอลใช้ความเข้มข้นตั้งแต่ 78.625-5000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ละลายในเมทานอล ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและทำปฏิกิริยาบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร โดยมีสารละลาย ascorbic acid เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นคำนวณค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (%inhibition) เทียบกับกลุ่มควบคุม แล้วพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและ %inhibition เพื่อให้ได้สมการเส้นตรงและสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (r^2) และเทียบหาค่า IC_{50} ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้การยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นร้อยละ 50 ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ การคำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระได้จาก

$$\%inhibition = (A_{\text{ควบคุม}} - A_{\text{ทดสอบ}}) / A_{\text{ควบคุม}} \times 100$$

4. การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ด้วยวิธี Dopachrome method ดัดแปลงจากวิธี Chan et al. (2008) นำสารสกัดรากชะงอกละลายในความเข้มข้น DMSO 30% เจือจางสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายไฮเดียมพอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (pH 6.8) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เอนไซม์ไทโรซิเนส

1.84 Units ผสมให้เข้ากันและ บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนเติม สารละลาย L-DOPA ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน และทำปฏิกิริยาบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการ ดูดกลืนแสงในช่วง ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (microplate reader) ใช้ Kojic acid เป็นสารมาตรฐาน ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ การคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ ไทโรซิเนสจาก

$$\text{Tyrosinase inhibition activity (\%)} = [(A_{\text{ควบคุม}} - B_{\text{ทดสอบ}}) / A_{\text{ควบคุม}}] \times 100$$

5. การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมทั้งหมด (Total flavonoid content)

การหาปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminium chloride colorimetric ดัดแปลงจาก Chang et al. (2002) โดยเตรียมสารสกัดรากโสดทงแดงความเข้มข้นตั้งแต่ 62.5-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมกับบออะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 200 ไมโครลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากทำปฏิกิริยาแล้วจึงนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 437 นาโนเมตร นำข้อมูลที่ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานกับความเข้มข้นของสารสกัด โดยใช้เคอร์ซีติน (Quercetin: QE) เป็นสารมาตรฐาน แล้วจึงหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น และค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (r^2) เพื่อให้ได้กราฟมาตรฐานของเคอร์ซีติน จึงนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแทนค่าในสมการเส้นตรงและคำนวณหาปริมาณของฟลาโวนอยด์รวมทั้งหมด โดยรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลกับเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด (mg QE/g extract) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

6. การหาปริมาณฟีนอลิกรวมทั้งหมด (Total phenolic content)

การหาปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-cioaltea reagent ดัดแปลงจาก Singleton & Rossi (1965) โดยเตรียมสารสกัดรากโสดทงแดงในความเข้มข้นตั้งแต่ 62.5-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมสาร Folin-cioaltea ความเข้มข้น 50% ปริมาตร 25 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่น 10 ไมโครลิตร โซเดียมคาบอเนต ความเข้มข้น 20% ปริมาตร 125 ไมโครลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานกับความเข้มข้นของสารสกัด โดยใช้กรดแกลลิก (Gallic acid:

GAE) เป็นสารมาตรฐาน แล้วจึงหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น และค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (r^2) เพื่อให้ได้กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก จึงนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแทนค่าในสมการเส้นตรงและคำนวณหาปริมาณของฟีนอลิกรวมทั้งหมด โดยรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลกับกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg GAE/g extract) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดสอบทำซ้ำ จำนวน 3 ซ้ำ ($n=3$) แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean \pm SD) และเปรียบเทียบกับความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มโดยใช้สถิติ One Sample T-Test โปรแกรม SPSS โดยพิจารณาความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อ p -value $<$ 0.05

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ร้อยละผลผลิตของสารสกัดหยาบรากโลดทะนงแดง

จากการสกัดสารสำคัญรากโลดทะนงแดงด้วยวิธีการหมักด้วยตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 พบว่าสารสกัดหยาบที่ได้รากโลดทะนงแดง (ตารางที่ 1) มีลักษณะสีน้ำตาลแดงเข้ม เหนียวหนืด มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว มีตะกอน พบว่า %yield ของสารสกัดรากทะนงแดง คือ 8.33% (v/v) มีรายงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ารากโลดทะนงแดงที่บดละเอียด เมื่อสกัดโดยแช่ในตัวทำละลายเอทานอลแล้วกรองเฉพาะส่วนใสและทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) พบว่าสารสกัดเอทานอลจากรากทะนงแดงมี %yield เท่ากับ 2.46% (w/w) (พรรณี หนูชื้อตรง และคณะ, 2551) ซึ่งกระบวนการในการสกัดสารสำคัญ ระยะเวลาในการแช่สมุนไพรแต่ละท้องถิ่นและตัวทำละลาย อาจแตกต่างกันทำให้ %yield แตกต่างกันได้ ซึ่งการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นการแยกสารอาศัยหลักการละลายระหว่างตัวทำละลายกับสารสำคัญ ในสมุนไพรรวมของการละลายความมีขั้ว (polarity) ของทั้งตัวทำละลายและสารสำคัญ (รัตน อินทรานุกุล, 2547) เอทานอลเป็นตัวทำละลายตัวทำละลายกึ่งมีขั้ว (semipolar solvent) จึงสามารถละลายสกัดสารสำคัญของพืช ได้แก่ tannins, polyphenols, polyacetylenes, flavonols, terpenoids, sterols, alkaloids (Pandey and Tripathi, 2014)

ตารางที่ 1 ร้อยละผลผลิตของสารสกัด (% yield)

ตัวอย่าง	น้ำหนักของสารสกัดหยาบ (ml)	ร้อยละของผลผลิต (v/v)	ลักษณะทางกายภาพของสารสกัด
รากโลดทะนงแดง	416.27	8.33	สีน้ำตาลแดงเข้ม เหนียวหนืด มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว มีตะกอน

หมายเหตุ: ใช้ตัวทำละลาย ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร

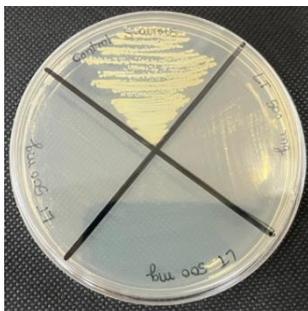
2. ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคผิวหนังของสารสกัดหยาบรากโลดทะนงแดง

จากการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคผิวหนังด้วยการหาความเข้มข้นของสารในระดับต่ำสุด ที่สามารถยับยั้งเชื้อได้ (Minimum Inhibitory Concentration: MIC) และความเข้มข้นของสารในระดับต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ (Minimum Bactericidal Concentration: MBC) ผลการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบรากโลดทะนงแดงสามารถยับยั้งเชื้อได้ทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยสามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ATCC25923, *P. aeruginosa* ATCC27853 และ *C. albicans* ATCC10231 แสดงค่า MIC เท่ากับ 250, 250 และ 31.25 mg/ml ตามลำดับ และค่า MBC เท่ากับ 500, 500 และ 31.25 mg/ml ตามลำดับ พบว่าสารสกัดหยาบรากโลดทะนงแดงสามารถยับยั้งเชื้อ *C. albicans* ATCC10231 ได้ดีที่สุดในรองลงมา คือ *S. aureus* ATCC25923 และแบคทีเรีย *P. aeruginosa* ATCC27853 ซึ่งยาปฏิชีวนะ tetracyclines กลุ่มควบคุมแสดงค่า MIC และ MBC ความเข้มข้นตั้งแต่ 1.25-5 mg/ml (ตารางที่ 2) รายงานก่อนหน้านี้ได้ศึกษาสารสกัดโลดทะนงแดงในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก พบว่าสารสกัดโลดทะนงแดงมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* แสดงค่า MIC เท่ากับ 12.5 mg/mL และค่า MBC เท่ากับ 25.0 mg/mL และยับยั้งเชื้อ *Bacillus cereus* แสดงค่า MIC และ MBC เท่ากับ 6.25 mg/mL (Sangdee et al., 2021) สารสกัดรากโลดทะนงแดงสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งสารสำคัญกลุ่มไตรปีนอยด์ของสารสกัดรากโลดทะนงแดง ได้แก่ rediodide C และ rediodide G สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกที่ก่อโรคติดเชื้อวัณโรค *Mycobacterium tuberculosis* แสดงค่า MIC เท่ากับ 3.84 μ M (Kaemchantuek et al., 2017) ดังนั้นสารสำคัญที่ได้จากรากโลดทะนงแดงจึงมีความสำคัญสามารถนำมาพัฒนาเป็นยายับยั้งเชื้อจุลชีพและฆ่าเชื้อจุลชีพที่ก่อโรคได้

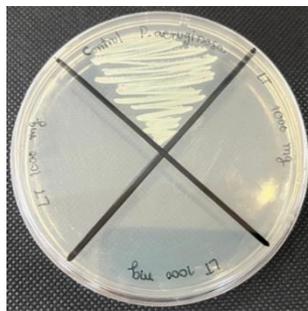
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคผิวหนัง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (mg/ml)					
	<i>S. aureus</i>		<i>P. aeruginosa</i>		<i>C. albicans</i>	
	ATCC25923		ATCC27853		ATCC10231	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
สารสกัด LT	250	500	250	500	31.25	31.25
Tetracyclines	1.25	5	1.25	5	1.25	2.5

หมายเหตุ: LT คือ สารสกัดรากโลดทะนงแดง, ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ



(A) *S. aureus* ATCC25923



(B) *P. aeruginosa* ATCC27853



(C) *C. albicans* ATCC10231

รูปที่ 1 แสดงผล MBC ของความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

3. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาบโลดทะนงแดง

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบโลดทะนงแดงด้วยวิธี DPPH assay โดยมีกรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐาน ผลการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบโลดทะนงแดงแสดงค่า IC_{50} ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ เท่ากับ $623.28 \pm 7.37 \mu\text{g/mL}$ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกแสดงค่า IC_{50} เท่ากับ $6.00 \pm 0.05 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) (ตารางที่ 3) สารอนุมูลอิสระ DPPH เป็นสารอนุมูลอิสระรูปแบบเสถียรในตัวทำละลายเมทานอล สารละลายมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 515 - 517 นาโนเมตร เมื่อสาร DPPH ทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสีของสารละลายสีม่วงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้

เป็นมาตรฐาน (Chu et al., 2000) จากการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วยวิธี Dopachrome method โดยมีกรดโคจิกเป็นสารมาตรฐาน ผลการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบโลดทะนงแดงแสดงค่า IC_{50} ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส เท่ากับ $809.63 \pm 65.22 \mu\text{g/mL}$ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดโคจิก แสดงค่า IC_{50} เท่ากับ $11.78 \pm 0.14 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) (ตารางที่ 3) งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าสารสกัดหยาบโลดทะนงแดงสามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ เท่ากับ $23.27 \pm 0.65\%$ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาบโลดทะนงแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้เหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นเวชสำอาง ลดริ้วรอย ความหมองคล้ำ และเสริมสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

ตัวอย่าง	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)	ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ ไทโรซิเนส IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)
สารสกัดรากโลดทะนงแดง	809.63 ± 65.22^b	502.17 ± 7.99^b
ascorbic acid	6.00 ± 0.05^a	-
kojic acid	-	11.78 ± 0.14^a

หมายเหตุ: ^{a,b}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างของฤทธิ์ต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$)

4. ปริมาณของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และสารกลุ่มฟีนอลิก

จากการทดสอบหาปริมาณสารของสารสกัดหยาบโลดทะนงแดงในกลุ่มฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminium chloride colorimetric โดยมีสารเคอร์ซีตินเป็นสารมาตรฐาน และสารกลุ่มฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-ciocalteu reagent โดยมีกรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ผลการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบโลดทะนงแดงปริมาณของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เท่ากับ $18.66 \pm 0.07 \text{ mg QE/g extract}$ และมีปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิก เท่ากับ $10.22 \pm 0.13 \text{ mg GAE/g extract}$ (ตารางที่ 4) สารฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยทำหน้าที่ในการหน่วงเหนี่ยวหรือเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) จึงช่วยหยุดปฏิกิริยาถูกโซ่

ของอนุมูลอิสระได้ (Chu et al., 2000) และคุณสมบัติต้านจุลชีพและแก้อักเสบได้ (Jayasuriya et al., 2004) โลดทะนงแดงประกอบด้วยสารสำคัญในกลุ่ม diterpenoids, triterpenoids, sesquiterpenoids, alkaloids, lignans, flavonoids, coumarins และ steroids ซึ่งสารสำคัญที่พบในรากโลดทะนงแดง ได้แก่ trigonostemone, lotthanongine, redioides A, redioides B, redioides C, redioides D, redioides E, diterpenoid และจากการวิจัยในครั้งนี้พบว่าโลดทะนงแดงมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคทางผิวหนัง ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เวชสำอางได้ในอนาคต

ตารางที่ 4 ปริมาณของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และสารกลุ่มฟีนอลิก

สารสำคัญ	ปริมาณของสารสำคัญในสารสกัด
สารกลุ่มฟลาโวนอยด์รวม	18.66 ± 0.07 mg QE/g extract
สารกลุ่มฟีนอลิกรวม	10.22 ± 0.13 mg GAE/g extract

หมายเหตุ: GAE = Gallic acid, QE = Quercetin

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดเอทานอลจากรากโลดทะนงแดงที่พบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคผิวหนังโดยสามารถยับยั้งเชื้อจุลชีพได้ โดยยับยั้งเชื้อ *C. albicans* ATCC10231 ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ *S. aureus* ATCC25923 และ *P. aeruginosa* ATCC 27853 ดังนั้นสารสกัดที่ได้จากรากโลดทะนงแดงสามารถนำมาใช้เป็นสารยับยั้งและฆ่าเชื้อโรคที่ก่อโรคผิวหนังได้ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและยังสามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ และยังมีปริมาณสารสำคัญในสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และมีปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงเป็นการรายงานผลของสารสกัดโลดทะนงแดงที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เวชสำอางบำรุงผิวได้และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้สมุนไพรในท้องถิ่นนำไปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรทางเลือกให้กับผู้บริโภคและสร้างมูลค่าทางเชิงพาณิชย์ได้ แต่ต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมในขั้นตอนวิธีการสกัดสารสำคัญ การศึกษาด้านพิษวิทยา (Toxicity) และการวิจัยในสัตว์ทดลอง (*in vivo*) และการศึกษาทางคลินิกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ประจำปีงบประมาณ 2566 และคณะวิทยาศาสตร์ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการวิจัยและพัฒนาท้องถิ่น สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย และขอบคุณผู้ร่วมโครงการวิจัยที่ได้ช่วยเหลือในการปฏิบัติงานทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. (2561). สมุนไพรแก้แมลงสัตว์กัดต่อย. *วารสารกรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*, 1(4), 1-10.

กรมควบคุมโรค. (2556). *ตำราวัคซีนและการสร้างเสริมภูมิคุ้มกันโรค*. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

กรมวิชาการ. (2542). *คัมภีร์แพทย์ศาสตร์สงเคราะห์ภูมิปัญญาทางการแพทย์และมรดกทางวัฒนธรรมของชาติ*. องค์การคำครุสภา.

จินดาพร คงเดช. (2551). *การผลิตสารยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และสารต้านอนุมูลอิสระจากพืชเพื่อใช้ในเครื่องสำอาง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).

ดวงแก้ว ปัญญาภู และ กฤษณะ คตสุข. (2561). โลดทะนงแดงสมุนไพรแก้พิษงู. *วารสารกรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*, 1(4), 11-20.

พรรณี หนูชื้อตรง, ดวงเดือน เมฆสุริเยนทร และ บุญรัตน์ จันทรทอง. (2551). *กลไกความเป็นพิษของสารสกัดโลดทะนงแดงในเซลล์เอ็มบริโอฟิชลิบเกา*. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์).

กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรพิมล พลคำ, ศรีนทร์ ทองธรรมชาติ, ทองสุข พลละมา, มนชวัน วังกุลกลางกูร และ สุขนา วานิช. (2561). *การศึกษาเปรียบเทียบแบบแผนโปรตีนของพืชสมุนไพรต้านพิษแมลงสัตว์กัดต่อย ด้วยวิธี Electrophoresis*. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). มหาสารคาม:

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

- รัตน์ อินทรานุปกรณ์. (2547). การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibensouda, S.K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71-79.
- Birben, E., Sahiner, U.M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative Stress and Antioxidant Defense. *World Allergy Organ Journal*, 5(1), 9-19.
- Carlsen, M. H., Halvorsen, B. L., & Holte, K. (2010). The total antioxidant content of than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*, 9(3), 1-11.
- Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, L. F., Lianto, F. S., Wong, S. K., Lim, K. K., Joe, C. E. & Lim, T. Y. (2008). Antioxidant and tyrosinase inhibition properties of leaves and rhizomes of ginger species. *Food Chemistry*, 109, 477-483.
- Chang, Q., Zuo, Z., Harrison, F., & Chow, M. S. S. (2002). Hawthorn. *Journal of Clinical Pharmacology*, 42(6), 605-612.
- Chu, Y.H., Chang, C. L., & Hsu, H. F. (2000). Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 561-566.
- Itah, A. & Essien, J. (2005). Growth profile and hydrocarbon clastic potential of microorganisms isolated from Tarballs in the Bight of Bonny, Nigeria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(7), 1317-1322.
- Jayasuriya, H., Zink, D. L., Borris, R. P. Nanakorn, W., Beck, H. T., Balick, M. J., Goetz, M. A., Gregory, L., Shoop, W. L., & Singh, S. B. (2004). Redioides B-E, potent insecticides from *Trigonostemon reidioides*. *Journal of Natural Products*, 67(2), 228-231.

- Kaemchantuek, P., Chokchaisiri, R., Prabpai S., Kongsaree, P., Chunglok, W., Utaipan, T., Chamulitrat, W., & Suksamrarn, A. (2017). Terpenoids with potent antimycobacterial activity against *Mycobacterium tuberculosis* from *Trigonostemon reidioides* roots. *Tetrahedron*, 73(12), 1594-1601.
- Pandey, A. & Tripathi, S. (2014). Concept of standardization, extraction and pre phytochemical screening strategies for herbal drug. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(5), 115-119.
- Peters, B.M., Jabra-Rizk, M.A., Scheper M.A., Leid, J. G., Costerton, J. W., & Shirliff, M. E. (2010). Microbial interactions and differential protein expression in *Staphylococcus aureus* - *Candida albicans* dual-species biofilms. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 59(3), 493–503.
- Sangdee, A., Sangdee, K., Bunchalee, P., & Seephonkai, P. (2021). Antibacterial activity and mechanism of action of trigonostemone against *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*. *Tropical Biomedicine*, 38(4), 484-490.
- Sharma, B. R., Kumar, V., Gat, Y., Kumar, N., Parashar, A., Pinakin, D. J. (2018). Microbial maceration: a sustainable approach for phytochemical extraction. *3 Biotech*, 8(9), 401. doi: 10.1007/s13205-018-1423-8.
- Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144.
- Utsintong, M., Talley, T. T., Taylor, P. W., Olson, A. J., & Vajragupta, O. (2009). Virtual Screening Against α -Cobratoxin. *Journal of Biomolecular Screening*, 14(9), 1109–1118.

ระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน

THE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM FOR PHU PHAN MUSEUM

อิศวรรวิทย์ ศิริขันธ์^{1,*} และ สุทิศา ซองเหล็กนอก²Issaworawit Sirikhanth^{1,*} and Sutisa Songleknok²¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสารสนเทศดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร² สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร¹ Program in Technology and Digital Information Management, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University² Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

Received: 3 October 2024

Revised: 8 December 2024

Accepted: 9 December 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ 1) ศึกษาสภาพ ปัญหาและความต้องการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน 2) พัฒนาระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน 3) ประเมินประสิทธิภาพของระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน และ 4) ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน กลุ่มตัวอย่างจำนวน 402 คน ประกอบด้วย หัวหน้าพิพิธภัณฑ์ภูพาน 1 คน เจ้าหน้าที่ประจำพิพิธภัณฑ์ภูพาน 5 คน นักท่องเที่ยว 396 คน เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม สถิติวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนเนื้อหาใช้การวิเคราะห์เนื้อหา

ผลการวิจัยพบว่า 1) สภาพปัจจุบัน ปัญหา และความต้องการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพานพบว่า พิพิธภัณฑ์ภูพานไม่มีเว็บไซต์เฉพาะของหน่วยงาน การประชาสัมพันธ์ข่าวสารและกิจกรรมผ่านเฟซบุ๊ก ปัญหาของพิพิธภัณฑ์ภูพาน มีอุปกรณ์ด้านเทคโนโลยีไม่เพียงพอ ไม่มีบุคลากรด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและงบประมาณไม่เพียงพอ และมีความต้องการนำสารสนเทศสารสนเทศนำเสนอในรูปแบบเว็บไซต์ 2) ผลการพัฒนาแบ่งเป็น 3 ส่วน คือส่วนผู้ดูแลระบบทำหน้าที่จัดการข้อมูลประชาสัมพันธ์ ข้อมูลสารสนเทศ การจัดแสดง การจองพิพิธภัณฑ์

* Corresponding author: อิศวรรวิทย์ ศิริขันธ์

E-mail: Bossbodyslam30@gmail.com

ส่วนสมาชิกสามารถดูข่าวประชาสัมพันธ์ ข้อมูลโชนนิทรรศการ จองและดูผลการจองคิวชม พิพิธภัณฑ์ และส่วนผู้ใช้ทั่วไปสามารถดูข่าวประชาสัมพันธ์ ข้อมูลโชนนิทรรศการ และสมัครสมาชิก 3) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.80$, S.D.=0.55) ด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือด้านรักษาความปลอดภัย ($\bar{x}=4.93$, S.D.=0.15) 4) ผลการประเมินความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.52$, S.D.=0.38) ด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ ($\bar{x}=4.60$, S.D.=0.56)

คำสำคัญ: ระบบจัดการสารสนเทศ, พิพิธภัณฑ์ภูพาน, สารสนเทศพิพิธภัณฑ์, เว็บไซต์พลิเคชัน

Abstract

This research aimed to 1) study the current conditions, problems, and information needs of the Phu Phan Museum, 2) develop an information management system for the Phu Phan Museum, 3) evaluate the effectiveness of the information management system, and 4) assess user satisfaction with the information management system of the Phu Phan Museum. The sample consisted of 402 participants, including 1 head of the Phu Phan Museum, 5 staff members, and 396 tourists. Data were collected using questionnaires, and statistical analysis included frequency, percentage, mean, and standard deviation, along with content analysis for qualitative data.

The findings revealed that: 1) The current conditions, problems, and information needs of the Phu Phan Museum showed that it lacks a dedicated website; information is disseminated via Facebook. The problems include insufficient technology, a lack of IT personnel, and inadequate budget, while there is a need for an exhibition zone to be presented in website format. 2) The development results were divided into three parts: the administrator manages public relations data, exhibition zone information, and museum bookings; members can view news, exhibition zone information, and make

reservations; and general users can access news, exhibition zone information, and register as members. 3) The evaluation of system effectiveness by experts was at a very high level (\bar{x} =4.80, S.D.=0.55), with the highest mean in security (\bar{x} =4.93, S.D.=0.15). 4) Overall user satisfaction was also at a very high level (\bar{x} =4.52, S.D.=0.38), with the highest mean for functionality (\bar{x} =4.60, S.D.=0.56).

Keywords: Management information system, Phu Phan museum, Museum information, Web application

บทนำ

วิทยาการของโลกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเทคโนโลยีสารสนเทศ ช่วยให้ประชาชนทั่วโลกสามารถติดต่อสื่อสารกันได้แบบไร้พรมแดน กระแสโลกาภิวัตน์ได้นำเข้าสู่ยุคแห่งการจัดระเบียบทางเศรษฐกิจ สังคม และการเมืองระหว่างประเทศใหม่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตของผู้คน ประเทศที่สามารถบริหารจัดการความรู้ได้ดีจะสามารถพัฒนาคนให้มีคุณภาพได้ดีกว่า ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศ เครือข่าย และการสื่อสาร เกิดจากการสร้างสรรค์ความรู้ของมนุษย์ การรวบรวมความรู้ในองค์กรไว้ในที่เดียวกันเสมือนเป็นศูนย์ข้อมูลขององค์กร ช่วยให้ใช้ประโยชน์จากความรู้ที่ทันสมัยและสนับสนุนการพัฒนางานในทุกองค์กร (จิณณวัตร ปะโคทั้ง, 2561)

พิพิธภัณฑ์เป็นแหล่งเรียนรู้ เป็นสถานที่นำเสนอเรื่องจากความจริงในท้องถิ่นและชาติพันธุ์ผ่านวัตถุทางวัฒนธรรมที่นำมาจัดแสดงสู่เรียนรู้ และถ่ายทอดภูมิปัญญาและจารีตประเพณีเกิดการเรียนรู้ร่วมสมัย (นฤพนธ์ ด้วงวิเศษ, 2564) เป็นที่เก็บรวบรวมองค์ความรู้มาจัดแสดงและเผยแพร่ในรูปแบบที่หลากหลาย และแตกต่างกันตามจุดประสงค์ของพิพิธภัณฑ์ เช่น วัตถุ ภาพถ่าย บอร์ดนิทรรศการ วิดีโอ นอกจากนี้ยังมีพิพิธภัณฑ์หลายแห่งได้นำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้เผยแพร่และจัดการสารสนเทศในพิพิธภัณฑ์เพื่อให้ผู้สนใจสามารถเข้าใช้บริการข้อมูลข่าวสารแทนการเยี่ยมชมในสถานที่จริงในรูปแบบเว็บไซต์ (อมลรดา ยุตาคม, 2563; ยลพรรณ รอดรักบุญ และคณะ, 2561) และจากการพัฒนาทางเทคโนโลยีดิจิทัลกลายเป็นปัจจัยผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในพิพิธภัณฑ์ เช่น พิพิธภัณฑ์เสมือนจริง (นฤพนธ์ ด้วงวิเศษ, 2564)

พิพิธภัณฑ์ภูพาน จังหวัดสกลนคร เป็นแหล่งเรียนรู้และท่องเที่ยวที่รวบรวมจัดเก็บ และนำเรื่องราวประวัติศาสตร์จัดแสดงในรูปแบบนิทรรศการ การแสดงแบ่งเป็นโซน 10 โซน ประกอบด้วย ประวัติความเป็นมาของจังหวัดสกลนคร ประติมากรรม เรื่องเล่าความเป็นมา ของบรรพบุรุษ ศิลปวัฒนธรรม เชื้อชาติ ตำนานการต่อสู้ พระเกจิอาจารย์ชื่อดังในจังหวัด สกลนคร นำเสนอข้อมูลผ่านสื่อแบบโต้ตอบ (Interactive) ในบริเวณพื้นที่จัดแสดง ทั้งยังเก็บ และแสดงโบราณวัตถุทรงคุณค่าเผยแพร่ให้ประชาชนได้เข้าชมและเรียนรู้เรื่องราวโดยเปิดให้ ชมฟรี ในส่วนการประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ข้อมูลใช้ช่องทางเฟซบุ๊กชื่อพิพิธภัณฑ์ภูพาน และห้องฟ้าจำลอง (องค์การบริหารส่วนจังหวัดสกลนคร) และผ่านเว็บไซต์มิวเซียมไทยแลนด์

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการนำระบบจัดการสารสนเทศมาใช้ในการจัดการ พิพิธภัณฑ์พบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเว็บไซต์ เช่น งานวิจัยของกวิณ งามจินดา วงศ์ และคณะ (2562) การออกแบบระบบนำเสนอข้อมูลโบราณสถานด้วยเทคโนโลยีผสม โลกจริงเข้ากับโลกเสมือนผ่านแบบจำลองกายภาพกรณีศึกษาโบราณสถานปราสาทเขาโล้น จังหวัดสระแก้ว ซึ่งเป็นการสร้างระบบนำเสนอข้อมูลโดยใช้ระบบเทคโนโลยีที่ผสมผสานโลกจริง กับโลกเสมือนซึ่งเป็นเทคโนโลยีรูปแบบดิจิทัลเว็บไซต์ งานวิจัยของเจริญ รุ่งกลิ่น และคณะ (2562) ได้วิจัยการพัฒนาเว็บไซต์พิพิธภัณฑ์เมืองหาดใหญ่แบบเสมือนจริงโดยการออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยใช้สื่อภาพเสมือนจริง 360 องศา การนำเสนอข้อมูล ของพิพิธภัณฑ์เพื่อสร้างทางเลือกใหม่ให้กับผู้ที่ต้องการเข้าชมพิพิธภัณฑ์โดยการใช้เทคโนโลยี สื่อภาพเสมือนจริง 360 องศา เข้ามาประยุกต์ใช้ในการนำเสนอ วิจัยใช้รูปแบบวงจรการพัฒนา ระบบ โดยเลือกรูปการนำเสนอข้อมูลของพิพิธภัณฑ์ในรูปแบบของเว็บไซต์ภาพเสมือนจริง ผ่านเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน สามารถเห็นบรรยากาศ สภาพแวดล้อมของพิพิธภัณฑ์ ก่อนล่วงหน้าเสมือนว่าได้เข้าไปอยู่ในสถานที่นั้น จริงๆ นอกจากนี้ ปรีดี ปลื้มสารานุกิจ และ ฟ้า วิไลขำ (2561) ได้ระบุความสำคัญของเว็บไซต์ที่มีต่อพิพิธภัณฑ์ว่า เว็บไซต์ช่วยเพิ่มศักยภาพ ให้กับพิพิธภัณฑ์ เพราะเป็นการเผยแพร่ สื่อสารข่าวสารให้กับประชาชนได้รับทราบโดยทั่วไป มีความรวดเร็ว และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ช่วยจัดเก็บเอกสารในรูปแบบดิจิทัลถือเป็นการเก็บรักษา ความรู้และภูมิปัญญาของบุคคลและใช้เป็นหลักฐานอ้างอิง นอกจากนี้ยังสามารถ ค้นหา เอกสารได้อย่างสะดวก รวดเร็ว เข้าถึงได้พร้อมกันเป็นจำนวนมากอย่างเท่าเทียมกัน ทุกคนในทุกที่ทุกเวลา ไม่จำกัดจำนวน และสามารถนำสารสนเทศมาเชื่อมโยงจัดแหล่งการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับการเรียนการสอนของผู้เรียนและการศึกษาตลอดชีวิตของประชาชน

จากความสำคัญและเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ โดยเลือกพิพิธภัณฑ์ภูพานเป็นพื้นที่ศึกษา โดยใช้เครื่องมือพัฒนาคือเทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชัน ที่สามารถจัดการสารสนเทศ เผยแพร่สารสนเทศ และประชาชนสามารถเข้าถึงสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพานได้ทุกที่ทุกเวลา

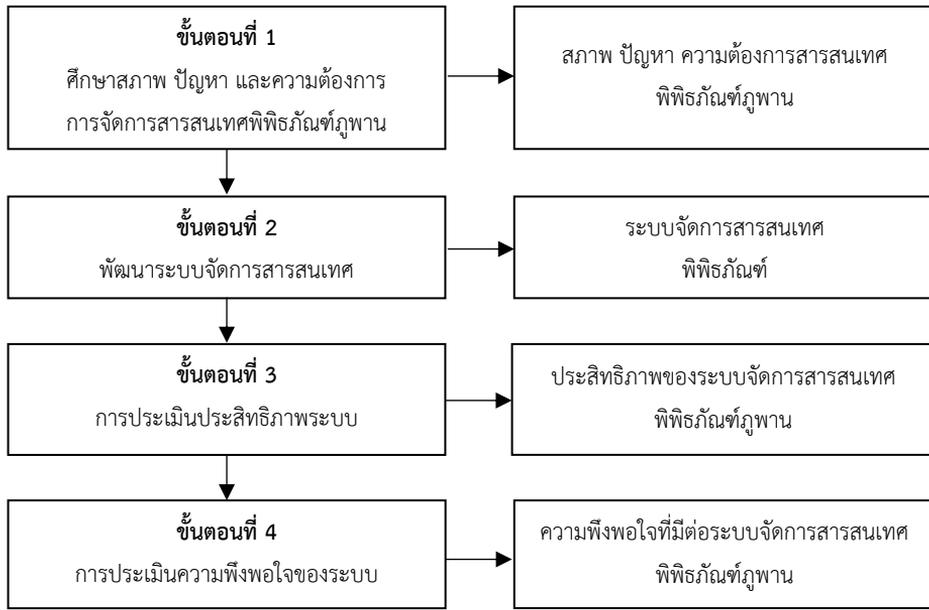
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องนี้เป็นารวิจัยและพัฒนา (Research and development) ใช้กระบวนการพัฒนาระบบ (System development life cycle) หรือเรียกว่า SDLC มีขั้นตอนของการพัฒนาระบบสารสนเทศเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้ (1) การวางแผน (Planning) เป็นการกำหนดแผนการทำงาน การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ และการติดตามปฏิบัติงานตามวงจรพัฒนาระบบ (2) การวิเคราะห์ระบบ (Analysis) ศึกษาเอกสารที่มีอยู่ ศึกษาระบบงานเดิมเพื่อให้เข้าใจถึงขั้นตอนและปัญหาการทำงาน รวบรวมข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดความต้องการระบบงานใหม่ และเขียนแผนภาพการทำงานของระบบใหม่ (3) การออกแบบระบบ (Design) นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบมาออกแบบระบบใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ (4) การนำไปใช้ (Implementation) ประกอบด้วย การเขียนโปรแกรม ทดสอบโปรแกรม การจัดทำคู่มือใช้งาน การติดตั้งระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น และการบำรุงรักษาระบบ (Wixom & Roth, 2014)

การพัฒนาระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพานแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานเป็น 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1 มีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสภาพ ปัญหาและความต้องการ การจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน

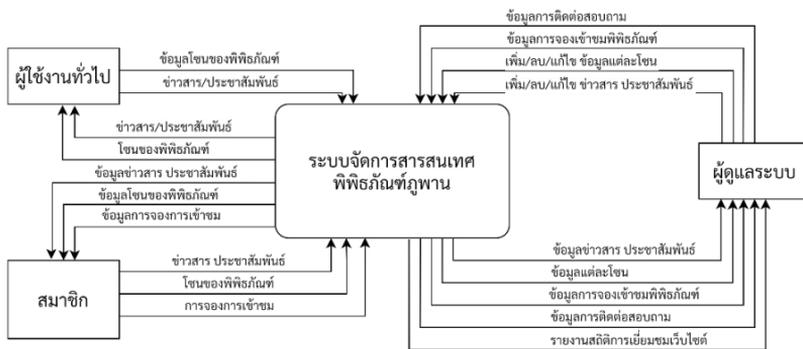
ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล 2 วิธี คือ (1) การสัมภาษณ์หัวหน้าพิพิธภัณฑ์ภูพาน ผู้ปฏิบัติงานพิพิธภัณฑ์ รวม 6 คน ด้วยแบบสัมภาษณ์ นำข้อมูลที่ได้จากแบบสัมภาษณ์มาวิเคราะห์เนื้อหา และ (2) เก็บข้อมูลจากนักท่องเที่ยว 100 คน มีเกณฑ์คัดเลือกคือ ประชาชนที่มาเยี่ยมชมพิพิธภัณฑ์ภูพาน มีความสามารถอ่านออกและเขียนหนังสือได้ โดยใช้แบบสอบถาม ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐาน คือค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความถี่ และร้อยละ ส่วนข้อมูลปลายเปิดจากแบบสอบถามใช้การวิเคราะห์เนื้อหา เพื่อสรุปปัญหาและความต้องการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน



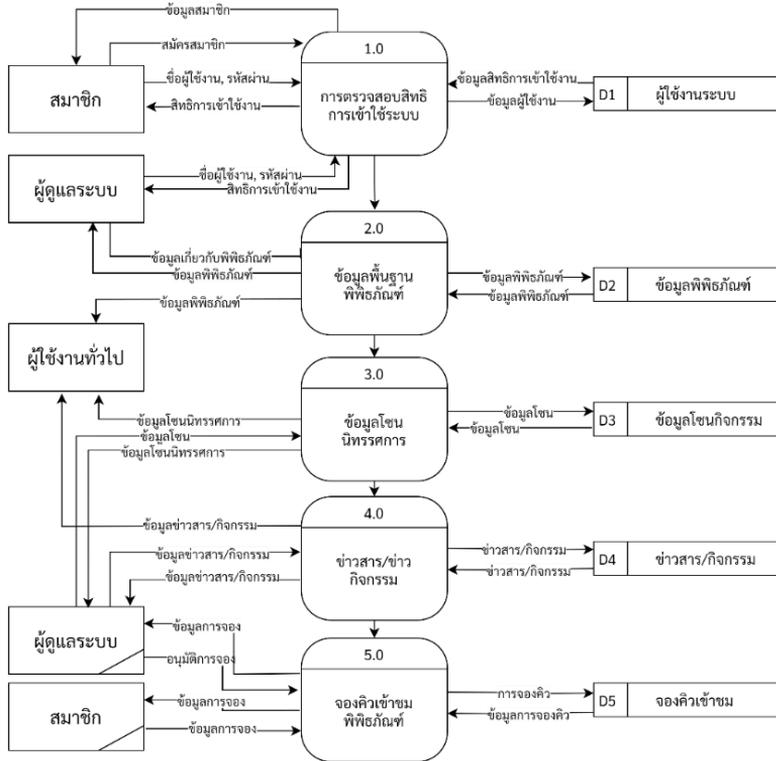
รูปที่ 1 ขั้นตอนการพัฒนาระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน

ขั้นตอนที่ 2 พัฒนาระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน

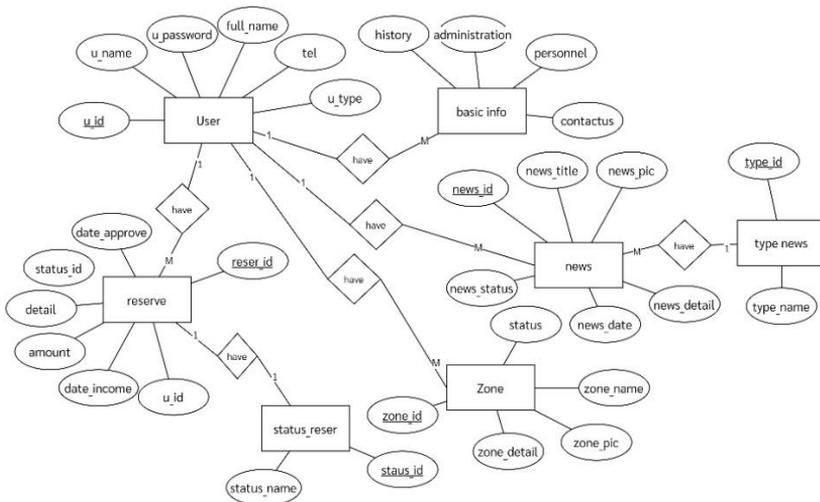
การวิเคราะห์และออกแบบระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถานด้วยข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ในขั้นตอนที่ 1 นำมาวิเคราะห์และเขียนแผนภาพบริบท (Context diagram) ดังรูปที่ 2 เขียนแผนภาพการไหลข้อมูลระดับ 0 (Data flow diagram) ดังรูปที่ 3 เขียนแบบจำลองอีอาร์ (ER model) แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4 ออกแบบแผนผังเว็บไซต์ ดังรูปที่ 5 และออกแบบหน้าจอ ดังรูปที่ 6



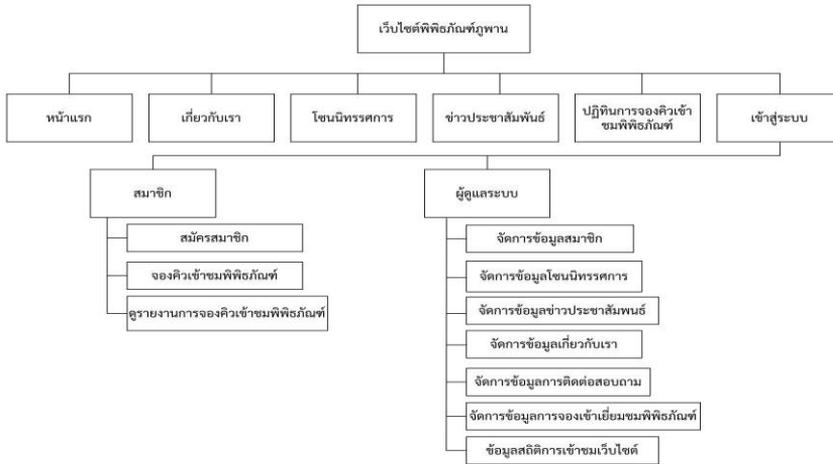
รูปที่ 2 Context diagram ระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน



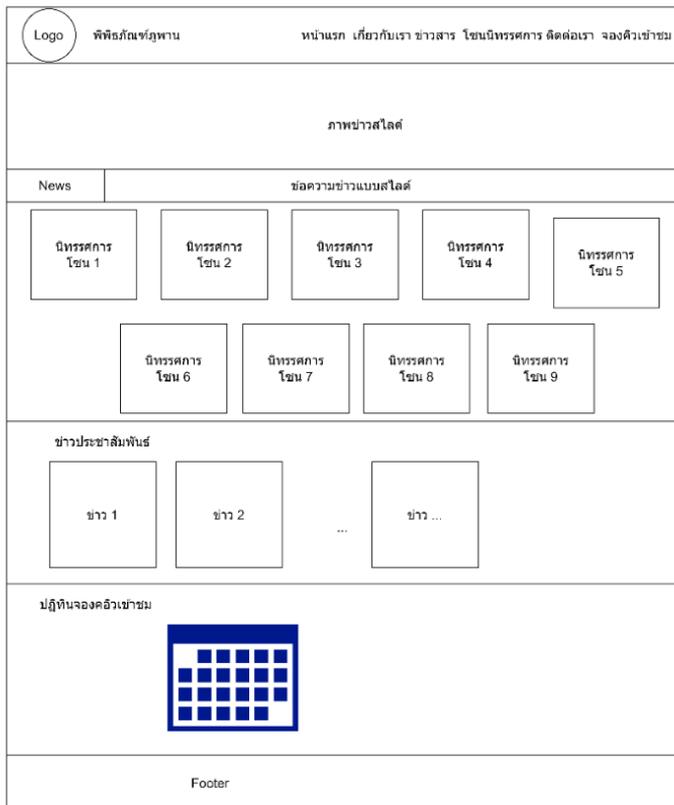
รูปที่ 3 แผนภาพการไหลของข้อมูลระดับ 0



รูปที่ 4 อีอาร์โมเดลระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน



รูปที่ 5 แผนผังเว็บไซต์พิพิธภัณฑ์ภูพาน



รูปที่ 6 ออกแบบหน้าเว็บไซต์พิพิธภัณฑ์ภูพาน

ระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถานพัฒนาด้วยเทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชัน เครื่องมือพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ประกอบด้วย HTML CSS และ JavaScript และภาษา PHP และฐานข้อมูลใช้ MySQLi

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินประสิทธิภาพระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน

ผู้วิจัยนำระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถานให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพ 5 คน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 3 ท่าน และด้านพิพิธภัณฑ 2 ท่าน ทดลองใช้และประเมินระบบด้วยแบบประเมินประสิทธิภาพระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินความพึงพอใจต่อระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน

ผู้วิจัยนำระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถานให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้ และประเมินความพึงพอใจด้วยแบบประเมินความพึงพอใจ โดยใช้วิธีสุ่มแบบบังเอิญกับนักท่องเที่ยว 396 คน ที่มาเยี่ยมชมพิพิธภัณฑสถาน และเลือกแบบเจาะจงกับผู้บริหารพิพิธภัณฑสถาน 1 คน และเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑสถาน 5 คน รวม 402 คน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1.1 ผลการศึกษาสภาพ ปัญหา และความต้องการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน

สภาพการจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน พิพิธภัณฑสถานได้มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้จัดการสารสนเทศประชาสัมพันธ์ข้อมูลผ่านสื่อเฟสบุ๊คแฟนเพจ ใช้กับงานด้านธุรการ เช่น การจัดทำเอกสารหน่วยงานราชการในรูปแบบไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรม ไมโครซอฟออฟิต รับส่งเอกสารผ่านเฟซบุ๊ก และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในส่วนจัดแสดงนิทรรศการ เช่น โปรเจคเตอร์ คิวอาร์โค้ด สื่อแบบโต้ตอบ และใช้เฟซบุ๊กเป็นช่องทางติดต่อและเผยแพร่ข่าวสารกับประชาชน

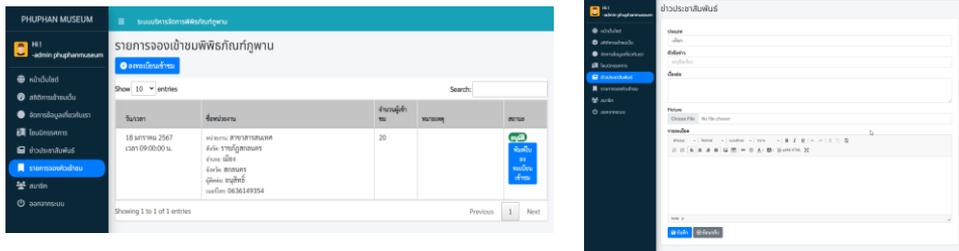
ปัญหาของสารสนเทศพิพิธภัณฑสถานพบว่า อุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศมีไม่เพียงพองบประมาณในการพัฒนาพิพิธภัณฑที่มีจำกัด ไม่มีบุคลากรตำแหน่งเทคโนโลยีสารสนเทศ ไม่มีเว็บไซต์สำหรับเผยแพร่ข่าวสารเกี่ยวกับพิพิธภัณฑ

ความต้องการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถานคือ ต้องการนำข้อมูลในโซนจัดแสดงมานำเสนอในรูปแบบเว็บไซต์ และต้องการให้นักท่องเที่ยวดาวน์โหลดเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ และจองคิวออนไลน์ในการเข้าชมพิพิธภัณฑสถานผ่านเว็บไซต์

1.2 ผลการพัฒนากระบวนการจัดการสารสนเทศ

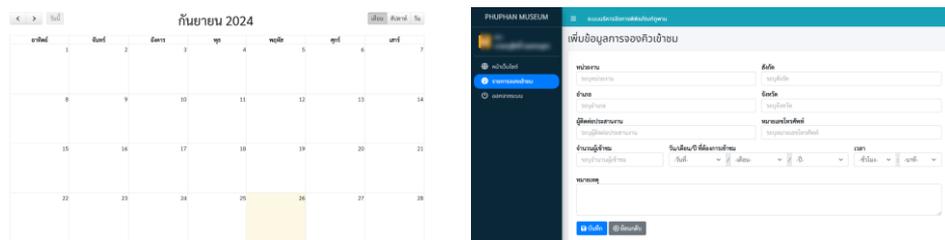
ระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพานจัดทำในรูปแบบเว็บไซต์เข้าถึงได้ที่ <https://www.phuphanmuseum.com/> แบ่งส่วนการทำงานตามประเภทผู้ใช้นี้

ผู้ดูแลระบบ ทำหน้าที่จัดการข้อมูลข่าวสารข่าวประชาสัมพันธ์ ข้อมูลโซนจัดแสดงของพิพิธภัณฑ์ ข้อมูลการจองพิพิธภัณฑ์ ข้อมูลการติดต่อสอบถามและรายงานสถิติการเยี่ยมชมเว็บไซต์ ดังรูปที่ 7



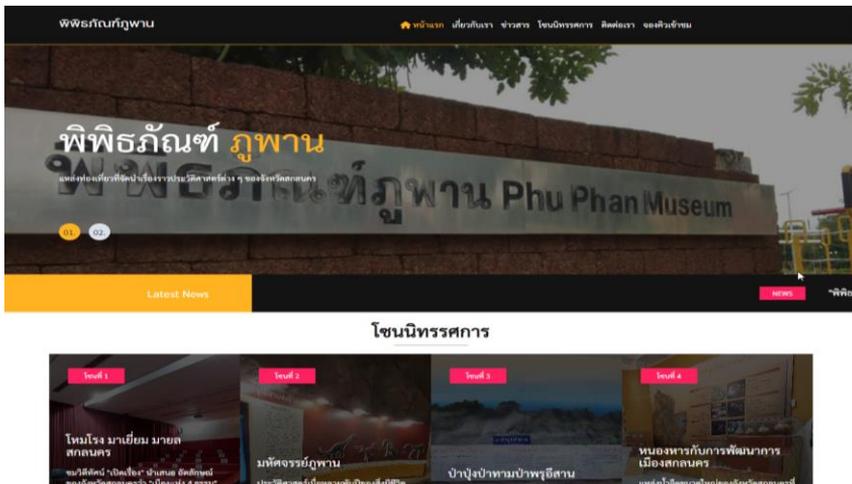
รูปที่ 7 หน้าจออนุมัติการจองคิวเข้าชมและจัดการข่าวประชาสัมพันธ์

สมาชิก สามารถดูข้อมูลข่าวสารข่าวประชาสัมพันธ์ ข้อมูลโซนนิทรรศการ สามารถจองและดูผลการจองเข้าชมพิพิธภัณฑ์ผ่านระบบได้ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 หน้าจอปฏิทินและการจองคิวเข้าชม

ผู้ใช้ทั่วไป สามารถเข้าดูข้อมูลทั่วไปของพิพิธภัณฑ์เช่น ข่าวประชาสัมพันธ์ ข้อมูลโซนนิทรรศการ 10 โซน และสามารถสมัครสมาชิกพิพิธภัณฑ์ภูพาน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 หน้าแรกของเว็บไซต์พิพิธภัณฑสถานภูพาน

จากการพัฒนาการพัฒนาระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถานภูพานด้วยเทคโนโลยีเว็บสามารถจัดการและเผยแพร่ข่าวประชาสัมพันธ์ ข้อมูลโซนนิทรรศการในลักษณะตัวอักษร ภาพถ่ายหรือภาพนิ่ง และคลิป การจองคิวเพื่อเยี่ยมชมพิพิธภัณฑสถานภูพานสำหรับการเยี่ยมชมเป็นกลุ่ม ให้กับประชาชนได้ และเมื่อรวบรวมสารสนเทศของพิพิธภัณฑสถานภูพานครบถ้วนจะก่อให้เกิดการเรียนรู้ทางวัฒนธรรมขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของพระครูสิริธรรมบัณฑิต และคณะ (2564) ที่ได้นำระบบอิเล็กทรอนิกส์มาสร้างต้นแบบพิพิธภัณฑสถานชุมชนในจังหวัดลำปาง 3 วิธี คือ สร้างคิวอาร์โค้ด สร้างเว็บไซต์ชื่อ <http://lpmuseum.net/> และสร้างแอปพลิเคชันชื่อ LP Museum จะกลายเป็นแหล่งเรียนรู้และสร้างเสริมประสบการณ์เรียนรู้ในรูปแบบใหม่ และสอดคล้องกับงานของยลพรรณ รอดรักบุญ และคณะ (2561) ที่ได้นำเทคโนโลยีโมบายแอปพลิเคชันมาจัดทำสื่อปฏิสัมพันธ์พิพิธภัณฑสถานวังสวนผักกาดด้วยการพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันเกมเพื่อค้นหาภาพและคำศัพท์ ทำให้กลุ่มเป้าหมายที่ใช้แอปพลิเคชันเกิดการเรียนรู้ สนุกสนาน ปรับทัศนคติที่มีต่อพิพิธภัณฑสถานโบราณ และเสริมสร้างจินตนาการ

1.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบจัดการสารสนเทศ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	\bar{x}	S.D.	แปลผล
1. ด้านความสามารถของระบบ	4.73	0.37	มากที่สุด
2. ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ	4.80	0.45	มากที่สุด
3. ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ	4.70	0.22	มากที่สุด
4. ด้านการทำงานของระบบ	4.60	0.55	มากที่สุด
5. ด้านการรักษาความปลอดภัย	4.93	0.15	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	4.80	0.55	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลประเมินประสิทธิภาพในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.80$, S.D.=0.55) ด้านที่มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพมากที่สุดคือ ด้านการรักษาความปลอดภัย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.93$, S.D.=0.15) โดยกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลเป็น 3 ระดับ ตามความสำคัญจากน้อยไปมากคือ ผู้ใช้ทั่วไป สมาชิก และผู้ดูแลระบบ โดยยึดหลักการรักษาความมั่นคงปลอดภัยคือ ความลับ ความถูกต้องสมบูรณ์ ความพร้อมใช้งาน สอดคล้องกับงานของอนาวิน แก้วสอาด และ ณัฐวี อุตกฤษฎ์ (2564) ที่ระบุว่าการบริหารความเสี่ยงด้านการบริหารความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในองค์กรเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อนำไปสู่มาตรการควบคุมให้เหมาะสมกับบริบทขององค์กร และลดความเสี่ยงในเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้งาน

1.4 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการใช้วิธีแจกแบบประเมินความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่าง ณ พิพิธภัณฑ์ภูพาน จำนวน 402 คน ได้รับแบบประเมินกลับคืนทั้งหมด โดยมีรายละเอียดของกลุ่มตัวอย่างดังนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 227 คิดเป็นร้อยละ 56.47 ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 16-18 ปี จำนวน 202 คน คิดเป็นร้อยละ 50.25 ระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. จำนวน 209 คน คิดเป็นร้อยละ 51.99 ส่วนใหญ่เป็นนักเรียน จำนวน 328 คน คิดเป็นร้อยละ 81.59 อาศัยอยู่ในจังหวัดสกลนคร จำนวน 383 คน คิดเป็นร้อยละ 95.27 และเข้าชมพิพิธภัณฑ์ภูพาน 1 ครั้ง/เดือน จำนวน 197 คน คิดเป็นร้อยละ 49.00 และกลุ่มตัวอย่างมีผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบสารสนเทศ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบสารสนเทศ

รายการ	\bar{x}	S.D.	แปลผล
1. ด้านเนื้อหา	4.48	0.48	มาก
2. ด้านการออกแบบ	4.49	0.42	มาก
3. ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ	4.60	0.56	มากที่สุด
4. ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ	4.49	0.51	มาก
5. ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ	4.59	0.50	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	4.52	0.38	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.52$, S.D.=0.38) โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.60$, S.D.=0.56) ซึ่งเกี่ยวข้องกับลิงค์บนเว็บไซต์กับฟอร์มการทำงานที่เชื่อมโยงตรงกัน และข้อมูลที่แสดงหรือนำเข้าตรงตามการทำงาน ซึ่งสร้างความชัดเจนในการทำงานกับเว็บไซต์ สอดคล้องกับสิริวิษญ์ สงวนศรี และคณะ (2567) ที่ระบุว่า การจัดหมวดหมู่เนื้อหาในรูปแบบที่เป็นระเบียบช่วยให้ผู้ใช้สามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ง่ายตาย และเนื้อหาที่มีใจความชัดเจนและถูกต้อง ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับเว็บไซต์

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาาระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพาน แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนผู้ดูแลระบบสามารถจัดการข้อมูลข่าวประชาสัมพันธ์พิพิธภัณฑ์ภูพาน ข้อมูลโซนจัดแสดงของพิพิธภัณฑ์ ข้อมูลจองคิวและอนุมัติเข้าชมพิพิธภัณฑ์ ข้อมูลการติดต่อสอบถาม และข้อมูลรายงานสถิติการเยี่ยมชมเว็บไซต์ ส่วนสมาชิกสามารถจัดการข้อมูลสมาชิก ดูข้อมูลข่าวประชาสัมพันธ์ ดูข้อมูลโซนของพิพิธภัณฑ์ จองคิวการเยี่ยมชมและดูผลการอนุมัติจองเยี่ยมชม และส่วนผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าดูข่าวประชาสัมพันธ์ ข้อมูลโซนของพิพิธภัณฑ์ และสมัครสมาชิก ผลการประเมินสิทธิภาพระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพานโดยผู้เชี่ยวชาญภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด และผลประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑ์ภูพานภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการใช้ระบบจัดการสารสนเทศพิพิธภัณฑสถาน ควรนำเสนอสารสนเทศทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เพื่อเปิดกว้างให้กับประชาชนทั้งคนไทยและต่างชาติ ควรมีเจ้าหน้าที่รับผิดชอบและปรับปรุงข้อมูลในเว็บไซต์ให้เป็นปัจจุบัน ควรเพิ่มเนื้อหาที่น่าสนใจแสดงในแต่ละโซนมากขึ้น และควรการนำเทคโนโลยีใหม่มาปรับใช้กับเว็บไซต์เพื่อให้เว็บไซต์มีความทันสมัย

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป การวิจัยด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (AR) หรือความเป็นจริงเสมือน (VR) หรือความเป็นจริงผสม (MR) มาสร้างรูปแบบการนำเสนอข้อมูล หรือการจำลองวัตถุแบบ 3 มิติ รวมถึงการเดินชมโซนกิจกรรมในพิพิธภัณฑสถาน แบบเสมือนจริงผ่านทางเว็บไซต์ให้กับผู้ชมพิพิธภัณฑสถาน

เอกสารอ้างอิง

กวิน งามจินดาวงศ์, ขาวี บุษยรัตน์ และ กิตติศักดิ์ อารมณ์วิชานพ. (2562). การออกแบบระบบนำเสนอข้อมูลโบราณสถานด้วยเทคโนโลยีที่ผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน: กรณีศึกษาโบราณสถานปราสาทเขาโล้น จังหวัดสระแก้ว. *วิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, 16(2), 13-30.

จิณณวัตร ปะโคทัง. (2561). *ภาวะผู้นำยุคดิจิทัล สำหรับผู้บริหารสถานศึกษามีอาชีพ*. อุบลราชธานี: ศิริธรรมออฟเซ็ท.

เจริญ รุ่งกลิ่น, ธนวัฒน์ ชินสำราญวงศ์, กิตติภูมิ แซ่ลิ้ม และ รามิลศร เขาว์ช่าง. (2562). *การพัฒนาเว็บไซต์พิพิธภัณฑสถานเมืองหาดใหญ่แบบเสมือนจริง*. น. 687-698. ใน: การประชุมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10. วันที่ 12 – 13 กรกฎาคม 2562. มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา.

นฤพนธ์ ดั่งวิเศษ. (2564). *มนุษย์วิทยาคลื่นวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และโลกดิจิทัล*. กรุงเทพฯ: ศูนย์มนุษยวิทยาสรินธร (องค์กรมหาชน).

ปรีดี ปลื้มสำราญกิจ และ ฟ้า วิไลขา. (2561). พิพิธภัณฑสถาน: แหล่งเรียนรู้เพื่อพัฒนาผู้เรียนในศตวรรษที่ 21. *ห้องสมุด*, 62(1), 43-67.

พระครูสิริธรรมบัณฑิต, ฌณณีย์ ศรีสุข, อนุกุล ศิริพันธ์ และ บุษกร วัฒนบุตร. (2564). การจัดการพิพิธภัณฑสถานในระบอบอิเล็กทรอนิกส์ของจังหวัดลำปาง. *ปัญญา*, 28(2), 29-44.

- ยลพรรณ รอดรักบุญ, เกียรติศักดิ์ เขียวมั่ง และ อภิสักข์ สิ้นธุ์ศักดิ์. (2561). การออกแบบสื่อปฏิสัมพันธ์พีธีทัศน์วังสวนผักกาด. *มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 38(3), 90-104.
- สิริวิชญ์ สงวนศรี, ธนกร เพ็งกระจ่าง, นวัตกรรม โปธิสาร และ วินิต ยืนยง. (2567). การพัฒนาเว็บไซต์เพื่อประชาสัมพันธ์หลักสูตรเทคโนโลยีมีลติมีเดีย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. *วิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, 2(4), 35-43.
- อนาวิต แก้วสอาด และ ณิชวี อดุกฤษฎ์. (2564) แนวทางการบริหารความเสี่ยงด้านความปลอดภัยไซเบอร์ระดับองค์กร. *สถาบันการป้องกันประเทศ*, 12(1), 6-20.
- อมลรดา ยุตาคม. (2563). การศึกษาลักษณะพีธีทัศน์เสมือนจริงที่ส่งผลต่อความสนใจของ Gen Y และ Gen Z ระหว่างสถานการณ์โควิด 19. (วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- Wixom, B. H., & Roth, R. M. (2014). *Systems analysis and design*. (6th ed.). New York: John Wiley.

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์
ของตำรับยาสุขไสยาสน์

THE STUDY OF ANTIOXIDANT ACTIVITY, TOTAL PHENOLIC AND TOTAL
FLAVONOID CONTENT IN YA-SUK-SI-YAT

นำพล แปนเมือง¹, ภัทธานิชช์ คำแผ่นจิริโรจน์¹, สุวิมล ดอบบุตร², พัทธนันท์ พิณราช³
และ ลลิตา วรโยธา^{3,*}

Nampon Panmueang¹, Bhattaranitch Khampaenjiraroj¹, Suwimol Dobut²,
Pattanan Pinnarach³ and Lalita Worayotha^{3,*}

¹ สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² สาขาวิชาการจัดการสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย

³ กลุ่มงานการแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก โรงพยาบาลเรณูนคร

¹ Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University.

² Department of Health Science Management, College of Asian Scholars.

³ Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Renu Nakhon Hospital.

Received: 13 October 2024

Revised: 22 December 2024

Accepted: 24 December 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ของสารสกัดหยาบตำรับยาสุขไสยาสน์ โดยนำมาสกัดผ่านตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำและเอทานอลร้อยละ 95 จากนั้นนำมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ ABTS Assay โดยการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH assay พบว่าสารสกัดหยาบในตัวทำละลายน้ำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดตรงลงมาคือ สารสกัดหยาบในตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ซึ่งมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 1.67 ± 0.32 และ 4.60 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบด้วยวิธี ABTS Assay พบว่าสารสกัดหยาบในตัวทำละลายน้ำมีฤทธิ์

* Corresponding author: ลลิตา วรโยธา

E-mail: Lalita41999@gmail.com

ต้านอนุมูลอิสระที่สุตรองลงมาคือสารสกัดหยาบในตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.56 ± 0.02 และ 5.23 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสาร L-ascorbic acid และ Trolox เป็นสารละลายมาตรฐาน การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) ในสารสกัดหยาบตำรับยาสุขไสยาสน์พบว่าตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด รองลงมาคือสารสกัดหยาบในตัวทำละลายด้วยน้ำ เท่ากับ 47.66 ± 5.57 และ 41.52 ± 5.54 กรัมแกลดิกต่อ 100 กรัมของสารสกัด ตามลำดับ และผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoid content) เมื่อเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐาน Quercetin พบว่าสารสกัดหยาบในตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 มีปริมาณสารประกอบ ฟลาโวนอยด์สูงสุด รองลงมาคือสารสกัดหยาบในตัวทำละลายน้ำเท่ากับ 4.56 ± 0.46 และ 3.69 ± 0.12 กรัมแควอซีตินต่อ 100 กรัมของสารสกัด ตามลำดับ

คำสำคัญ: ยาสุขไสยาสน์, สารต้านอนุมูลอิสระ, ฟีนอลิก, ฟลาโวนอยด์

Abstract

The purpose of this research was to study the antioxidant activity, total phenolic content and total Flavonoid content from YA-SUK-SI-YA, using two solvents: 95% ethanol and DI water found that analyzing the antioxidant using the DPPH and ABTS^{·+}, analyzing the antioxidant properties using the DPPH assay, found that DI water exhibited the highest potency followed by 95% Ethanol, with IC_{50} values of 1.67 ± 0.32 and 4.60 ± 0.02 mg/ml, respectively. When tested using the ABTS^{·+} assay, it was found that the aqueous extract had the best activity, followed by 95% Ethanol with IC_{50} values of 2.56 ± 0.02 และ 5.23 ± 0.02 mg/ml, respectively. When compared to L-ascorbic acid and Trolox as standard solutions. The analysis of the total phenolic content in the crude extract of the YA-SUK-SI-YA found that 95% Ethanol exhibited the highest

potency followed by DI water, with values of 47.66 ± 5.57 and 41.52 ± 5.54 g gallic acid equivalent (GAE) per 100 gram of extract, respectively. Total flavonoid content when compared to quercetin standard solution, the result showed that 95% ethanol exhibited the highest potency followed by DI water, with values of 4.56 ± 0.46 and 3.69 ± 0.12 g quercetin equivalent (QE) per 100 gram of extract.

Keywords: YA-SUK-SI-YA, Antioxidant, Phenolic, Flavonoid.

บทนำ

การใช้สมุนไพรกับคนไทย มีความสอดคล้องกันนับตั้งแต่สมัยโบราณกาล มีการนำสมุนไพรมาบริโภคและใช้เป็นยารักษาอาการหรือโรคต่างๆ อันเกิดจากสาเหตุหลายปัจจัย โดยการเกิดโรคทางแพทย์แผนไทย แบ่งการเกิดโรคตามคัมภีร์สมุฏฐานวินิจฉัย ได้แก่ การเกิดโรคจากธาตุสมุฏฐาน อุดุมสมุฏฐาน กาลสมุฏฐาน และประเทศสมุฏฐาน อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเจ็บป่วยซึ่งปัจจัยเหล่านี้ ส่งผลต่อธาตุในร่างกายของมนุษย์คือ ธาตุทั้ง 4 ประกอบด้วย ธาตุดิน ธาตุน้ำ ธาตุลม ธาตุไฟ ทำให้ร่างกายเสียสมดุลจึงเป็นผลให้เกิดการเจ็บป่วยต่างๆ (ตำราคัมภีร์สมุฏฐานวินิจฉัยและการวินิจฉัย, 2542) สังคมไทยในปัจจุบัน ก้าวเข้าสู่ยุคแห่งเทคโนโลยี มีความทันสมัยทางด้านเศรษฐกิจ การค้า การคมนาคม ยิ่งเกิดการพัฒนามากขึ้น ทำให้โลกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การดำรงชีวิตของมนุษย์ต้องเปลี่ยนแปลงให้ทันต่อวิวัฒนาการของโลก ทำให้มนุษย์ในปัจจุบันเกิดการใช้ชีวิตที่เร่งรีบ ทำงานหนัก การพักผ่อนมีน้อยลง ความเครียดในสังคมมากขึ้น เกิดเป็นอาการของโรคนอนไม่หลับ หรือบางครั้งอาจนำไปสู่อาการซึมเศร้าได้ อนุมูลอิสระส่งผลทำให้เซลล์ในร่างกายเสื่อมลง (Adwas et al., 2019)

ผู้วิจัยเห็นความสำคัญและให้ความสนใจในการศึกษาตำรับยาสมุนไพรที่เป็นการแต่งตำราพระโอสถขึ้นโดยหมอหลวงเป็นตำรับยานานที่ 44 มีส่วนประกอบของสมุนไพรทั้งหมด 12 ชนิด โดยส่วนประกอบหลักเป็นใบกัญชา 12 ส่วน และส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ การบูร 1 ส่วน ช่วยบำรุงหัวใจ ใบสะเดา 2 ส่วน แก้วพิชโลहित ช่วยเจริญอาหาร หัสศุณเทศ 3 ช่วยแก้หืดไอ ขับลม ส่วน สมุลแว้ง 4 ส่วน แก้มลิงเวียน แก้วพิชกำเดา เทียนดำ 5 ส่วน บำรุงโลหิต โกฎกระดุก 6 ส่วน แก้มในกองเสมหะ

บำรุงกระดูก ลูกจันทน์ 7 ส่วน บำรุงกำลัง แก้ไข้ บำรุงธาตุ บุนนาค 8 ส่วนแก้ลมกองละเอียด ชูกำลัง พริกไทย 9 ส่วนเพิ่มการอยากอาหาร หลังน้ำย่อย ชิงแห้ง 10 ส่วนกระตุ้นความอยากอาหาร ดีปลี 11 ส่วน แก้อาการนอนไม่หลับ และอาการปวดกล้ามเนื้อ รวมทั้งสิ้น 78 ส่วน แก่สรรพโรคทั้งปวงหายสิ้น มีกำลังกินข้าวได้ นอนเป็นสุข (สำนักงานคุ้มครองภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทย, 2544) เห็นได้ว่าตำรับยาสุขุไสยาศน์เป็นตำรับยาทางการแพทย์แผนไทยที่มีส่วนประกอบจากสมุนไพรหลากหลายชนิดและมีส่วนผสมของกัญชา 12 ส่วน ด้วยตำรายามีส่วนประกอบของกัญชา ที่ให้สารสำคัญ 2 ชนิดคือ THC และ CBD ที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทและพบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Free Radicals) โดยการชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันให้มีอัตราการลดลง และกำจัดออกซิเจนและไอออนโลหะที่เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกจากระบบ (Martin-Santos et al., 2012) ตำรับยาสุขุไสยาศน์เป็นตำรับยาที่ต้องควบคุมการใช้เพื่อให้ป้องกันอันตรายในการใช้ยา จึงต้องให้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ ผู้ที่มีใบอนุญาตเภสัชกรรมไทย เภสัชกร แพทย์ หรือแพทย์แผนไทยที่สามารถจ่ายตำรับยานี้เท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับยาสุขุไสยาศน์มีสรรพคุณช่วยบรรเทาอาการคลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหารจากเคมีบำบัด โรคลมชัก แก้อาการในกลุ่มนอนไม่หลับซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการนำตำรับยาสุขุไสยาศน์มาทดสอบเชิงคลินิกในกลุ่มอาการของคนที่นอนไม่หลับเรื้อรังซึ่งส่งผลเสียต่อร่างกายก่อให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งผลทดสอบพบว่ายาสุขุไสยาศน์มีประสิทธิภาพทำให้การนอนหลับดีขึ้น (ณัชชา เต็งเต็มวงศ์, 2564) จากการศึกษาพบว่าสมุนไพรจำพวกเปลือก แก่น ราก เปลือก ใบ ผล และดอก ในตำรับยาสมุนไพรมีองค์ประกอบของสารกลุ่มโพลีฟีนอล และฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอนุมูลอิสระในร่างกายโดยทำหน้าที่ยับยั้งอนุมูลอิสระและป้องกันไม่เกิดการทำลายภายในเซลล์ (Okuda and Ito., 2011) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของสารในตำรับยาสมุนไพรมีผลต่อการรักษาและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาข้อมูลสรรพคุณและจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและการศึกษาข้อมูลทางสรรพคุณทางการแพทย์แผนไทย ยังมีการรายงานผลการวิจัยที่พบน้อยมากที่เกี่ยวข้องกับตำรับยาสุขุไสยาศน์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมในตำรับยาสุขุไสยาศน์โรงพยาบาลเรณูนคร เพื่อให้เป็นประโยชน์และข้อมูลสนับสนุนต่อการพัฒนาตำรับยาเภสัชกรรมไทยในการใช้รักษาโรคทางการแพทย์ไทยและสามารถพัฒนาตำรับยาไปใช้ในรูปแบบอื่นๆ รวมถึงผลิตภัณฑ์ทางสุขภาพ เช่น อาหารเสริมและเวชสำอาง

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

1.1 สารเคมี

DPPH (Sigma-Aldrich, Denmark), Ascorbic acid (Sigma-Aldrich, USA), ABTS (Sigma – Aldrich, Germany), Potassium per sulfate (Ajax finechem, Australia), Methanol HPLC grade (Rci labscan, Thailand)

1.2 เครื่องมือ

Horizontal Shaker (HS50, IKA, USA), Centrifuge (Centrifuge 5810 R, Eppendorf, Germany), Rotary evaporator (Buchi R-100, Switzerland), Freeze dryer (Alpha 1-4, Christ, Switzerland), Hot air oven (Steriliser SN30, Germany), Desiccator cabinet (Wandefu, Japan), Micro plate Reader (EZ Read 400, Biochrom, UK), Plate shaker (shaker ST3, Elmi, UK), HPLC (Themo Dionex UV/Vis Ultimate 3000, Themo, USA)

1.3 ตำรับยาสมุนไพร

ตำรับยาสมุนไพรขนาด 500 มิลลิกรัม ในรูปแบบแคปซูล ประกอบด้วยใบ กัญชา การบูร ใบสะเดา หัสศุณเทศ สมุลแว้ง เทียนดำ โถงกระดูก ลูกจันทน์ บุนนาค พริกไทย ขิงแห้ง และดีปลี

.2วิธีการสกัด



รูปที่ 1 ตำรับยาสมุนไพร

นำตำรับยาสมุนไพรมาสกัดปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงในขวดลูกชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร สกัดด้วยน้ำกลั่น และเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1 : 10) ปิดปากขวดให้สนิท จากนั้นนำไปเข้าเครื่อง Horizontal Shaker เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแรง 150 รอบ/นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำไปกรองเพื่อแยกเศษกากและของเหลวออกจากกัน นำส่วนของเหลวเข้าเครื่อง centrifuge ที่ความเร็ว 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำเข้าเครื่อง rotary evaporator จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่อง Freeze dryer เก็บผงแห้งที่ได้ในขวดสีชาและเก็บในตู้ควบคุมความชื้นเพื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพต่อไป

3. ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบตำรับยาสมุนไพร

3.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity

ซังสาร DPPH 7.9 มิลลิกรัม (ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์) ในตัวทำละลาย เมทานอล AR Grad ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร (Volumetric flask) เก็บไว้ในที่มืดไม่ให้โดนแสงโดยใช้แผ่นอลูมิเนียม ฟลอยด์หุ้มไว้ จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยใช้สาร Trolox และ สาร L-ascorbic acid ในความเข้มข้น 0–1,000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลาย DPPH ปริมาตร 2.90 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันรวมปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วนำมาเก็บในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องแล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐาน Trolox และ L-ascorbic acid กับค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) จะได้กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากสารละลายมาตรฐานและสารสกัดหยาบตำรับยาสมุนไพร โดยหาค่า IC_{50} จากการสร้างกราฟเส้นตรงระหว่าง ค่า % inhibition กับความเข้มข้นของสารสกัด ดังสมการที่ 1 โดยใช้สมการเส้นตรง ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ (บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์, 2556)

$$y = ax + b \quad (1)$$

y = ค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูล DPPH (% inhibition)

x = ความเข้มข้นของสารสกัด

a = จุดตัดแกน y (intercept)

b = ความชัน (slope)

3.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี ABTS Cation Radical Scavenging Activity

ซึ่งสาร ABTS 9.6 มิลลิกรัมละลายน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร และ Potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) 37.84 มิลลิกรัมละลายน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร แล้วผสมกันในอัตราส่วน 1:1 มาผสมให้เข้ากันจากนั้นบ่มในที่มืดด้วยอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำออกมาแล้วเจือจางด้วยน้ำ DI ประมาณ 20 เท่า แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ให้ได้ค่า 0.7–1.0 จะได้สาร $ABTS^{+}$ ที่มีความเสถียร จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานโดยใช้สาร Trolox และ สาร L-ascorbic acid ในความเข้มข้น 0–1,000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลาย $ABTS^{+}$ ปริมาตร 2.90 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันรวมปริมาตร 3 มิลลิลิตรแล้วนำมาเก็บในที่มืดเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิห้องแล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐาน Trolox และ L-ascorbic acid กับค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) จะได้กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ การต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากสารละลายมาตรฐานและสารสกัดหยาบตำรับยาสมุนไพร โดยหาค่า IC_{50} จากการสร้างกราฟเส้นตรงระหว่าง ค่า % inhibition กับความเข้มข้นของสารสกัดดังสมการที่ 2 โดยใช้สมการเส้นตรง ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ (บุหรัน พันธุ์สุวรรณ, 2556)

$$y = ax + b \quad (2)$$

y = ค่าเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูล ABTS (% inhibition)

x = ความเข้มข้นของสารสกัด

a = จุดตัดแกน y (intercept)

b = ความชัน (slope)

3.3 การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic content)

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ใช้เทคนิค Folin–Ciocalteu ได้จากค่า Calibration curve ของ สารละลายมาตรฐาน Gallic acid ความเข้มข้น 0.1, 0.05, 0.025, 0.0125, 0.00625, 0.0032 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในน้ำกลั่น นำสารสกัดหยาบแล้วเติมสาร Folin–Ciocalteu reagent ผสมให้เข้ากันบ่มที่อุณหภูมิห้อง 4 นาที แล้วเติมสาร Sodium carbonate ลงไปผสมให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV spectrophotometer แล้วนำมาเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Gallic acid ทำการทดสอบตัวอย่างและสารละลายมาตรฐาน 3 ครั้ง คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเฉลี่ยในรูปของมิลลิกรัมของ Gallic acid equivalent (มิลลิกรัมต่อกรัมแกลลิก) โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ (Ainsworth & Gillespie, 2007) การคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

3.4 การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoid content)

การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม อาศัยการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีของสารละลาย โดยสารประกอบฟลาโวนอยด์ ได้จากค่า Calibration curve ของ สารละลายมาตรฐาน Quercetin ความเข้มข้น 0.05, 0.025, 0.0125, 0.00625, 0.0032 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใน Methanol นำสารสกัดหยาบแล้วเติมสาร Aluminum Trichloride reagent ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 403 นาโนเมตรโดยใช้เครื่อง UV spectrophotometer แล้วนำมาเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Quercetin ทำการทดสอบตัวอย่างและสารละลายมาตรฐาน 3 ครั้ง คำนวณปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมเฉลี่ยในรูปของมิลลิกรัมของ Quercetin equivalent (มิลลิกรัมต่อกรัมเคอควิซิน) โดยดัดแปลงวิธีมาจาก (Atanassova et al., 2011)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยความแปรปรวน One–Way analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey multiple comparisons ที่ค่า $P\text{-value} < 0.05$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยได้ทำการสกัดตำรับยาสมุนไพรด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิดคือ น้ำกลั่นและเอทานอลร้อยละ 95 โดยวิธีการแช่หมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลของน้ำหนักและร้อยละน้ำหนักสุทธิ (Percentage of yield) ของสารสกัดพบว่าเมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ให้ค่าผลผลิตร้อยละ (% yield) เท่ากับ 9.94 มีสีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะเหนียวข้นหนืดซึ่งเป็นการสกัดผ่าน rotary evaporator โดยอาศัยหลักการระเหยตัวทำละลายออกจากสารสกัดเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไปในรูปแบบก๊าซและจะถูกทำให้เย็นลงในคอนเดนเซอร์เป็นของเหลว ส่วนการสกัดด้วยน้ำกลั่นให้ค่าผลผลิตร้อยละ (% yield) เท่ากับ 7.92 มีสีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะแห้ง ไม่ข้นหนืด ซึ่งเป็นการสกัดผ่าน Freeze dryer ด้วยหลักการแช่เยือกแข็ง โดยเปลี่ยนน้ำในตัวอย่างเป็นของเหลวในรูปผลึกน้ำแข็งที่อยู่สถานะของแข็งหลังจากนั้นทำการลดความดันให้ต่ำกว่าจุดรวมสามจุดเพื่อผลึกน้ำแข็งเกิดการระเหิดและได้สารสกัดที่ได้เป็นผงแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ozsoy และคณะในปี 2009 ถ้าสกัดด้วยน้ำจะได้สารสกัดลักษณะแห้งมีสีน้ำตาลส่วนการสกัดด้วยเมทานอลและเอทิลอะซิเตต ได้สารสกัดลักษณะกึ่งแข็ง เหนียวข้น มีสีเข้ม แสดงดังตารางที่ 1 (Ozsoy et al., 2009)

ตารางที่ 1 ผลการสกัดตำรับยาสมุนไพร

ตัวทำละลาย	ค่าผลผลิตร้อยละ (% yield)	ลักษณะสารสกัด	รูปภาพ
เอทานอลร้อยละ 95	9.94	มีสีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะเหนียวหนืด	
น้ำ	7.92	มีสีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะแห้ง ไม่ข้นหนืด	

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบตำรับยาสมุนไพรสมุนไพรด้วยวิธี DPPH และ ABTS⁺

สารสกัด	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ		
	ตัวทำละลาย	ABTS ⁺ (IC ₅₀ mg/ml)	DPPH (IC ₅₀ mg/ml)
ตำรับยาสมุนไพร	น้ำ	2.56 ± 0.02*	1.67 ± 0.32*
	เอทานอลร้อยละ 95	5.23 ± 0.02*	4.60 ± 0.02*
ascorbic acid		0.23 ± 0.03	0.21 ± 0.03
Trolox		0.21 ± 0.05	0.22 ± 0.05

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อที่ P -value < 0.05

ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบตำรับยาสมุนไพรสมุนไพรด้วยวิธี ABTS assay พบว่าสารสกัดหยาบในตัวทำละลายน้ำมีฤทธิ์ดีที่สุดรองลงมาคือสารสกัดในตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ซึ่งมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 2.56 ± 0.02 และ 5.23 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ส่วนละลายมาตรฐาน Trolox และ L-ascorbic acid มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 0.21 ± 0.05 และ 0.23 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาบของตำรับเมื่อทดสอบด้วยวิธี ABTS assay มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแต่น้อยกว่าสารละลายมาตรฐาน Trolox และ L-ascorbic acid ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่า P -value < 0.05 แสดงดังตารางที่ 2 ส่วนผลการทดสอบด้วยวิธี DPPH assay พบว่าสารสกัดในตัวทำละลายน้ำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดรองลงมาคือสารสกัดตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ซึ่งมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 1.67 ± 0.32 และ 4.60 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ส่วนละลายมาตรฐาน Trolox และ L-ascorbic acid ค่า IC₅₀ เท่ากับ 0.22 ± 0.05 และ 0.21 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาบของตำรับยาเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH assay มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแต่น้อยกว่าสารละลายมาตรฐาน Trolox และ L-ascorbic acid ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่า P -value < 0.05 แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่าสารสกัดหยาบตำรับยาสมุนไพรสมุนไพรมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากเป็นยาตำรับที่มีสมุนไพรหลายชนิดซึ่งได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li และคณะในปี 2018 พบว่าตำรับยาสมุนไพรที่ประกอบด้วยสมุนไพรหลายชนิดช่วยต้านการอักเสบและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

โดยสาร ฟลาโวนอยด์ ลิกแนน ฟีนิลโพรพานอยด์ คูมาริน และ เทอร์พีนอยด์ ซึ่งสามารถยับยั้งการอักเสบได้ (Li et al., 2018) ส่วนใบสะเดาเมื่อนำมาทดสอบด้วยวิธี DPPH พบว่าสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ถึงร้อยละ 55.9 (นกน้อย ชูคงคา, 2554) เมื่อนำหัสคุณเทศมาสกัดด้วยเมทานอลพบว่าสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ถึงร้อยละ 48.9 เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH และแสดงความเป็นพิษต่อเซลล์ในระดับปานกลางต่อเซลล์มะเร็งระดับ HepG2 (Arung et al., 2009) ส่วนสมุลแว้งสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้มีค่า IC_{50} เท่ากับ 5.2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH assay (Gogoi et al., 2023) เทียนดำเมื่อนำน้ำมันสกัดมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay และ DPPH assay พบว่าสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 10 และ 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (Dinagaran et al., 2016) นอกจากนี้ยังพบการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดพริกไทยและตีปลีด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ด้วยวิธี DPPH assay พริกไทย มีค่าเท่ากับ EC_{50} เท่ากับ 26.28 ± 1.65 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและตีปลีมีค่า EC_{50} เท่ากับ 58.41 ± 2.91 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนการใช้น้ำสกัดในพริกไทย มีค่ามากกว่าตีปลี 78.52 ± 3.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (กุลิสรา อุ่นเจริญ และ วัลภา สีสานันทกุล, 2565) และใบกัญชาเมื่อนำมาสกัดด้วยน้ำและเฮกเซนพบว่ามียฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีและไม่เป็นพิษต่อเซลล์ (Stasitowicz-Krzemien., 2023) และความเข้มข้นต่ำสุดจากการทดลอง 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดหยาบมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่ากับวิตามินซีเท่ากับ 53.57 ± 0.06 และ 54.58 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (สุมิตา นิยมเดชา, 2564) แสดงให้เห็นว่าในตำรับยาสุขไสยาศน์นั้นมีสมุนไพรมากหลายชนิดล้วนแต่มีคุณสมบัติสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดีเมื่อทดสอบทั้งวิธี DPPH assay และ ABTS assay

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

สารสกัด	ตัวทำละลาย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม กรัมแกลริกต่อ 100 กรัมสารสกัด
ตำรับยาสุขไสยาศน์	น้ำ	41.52 ± 5.54
	เอทานอลร้อยละ 95	47.66 ± 5.57

ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ของสารสกัดหยาบตำรับยาสมุนไพร พืชหายากในตำรับยาละลายเอทานอลร้อยละ 95 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 47.66 ± 5.57 รองลงมาคือสารสกัดหยาบในตำรับยาละลายด้วยน้ำ เท่ากับ 41.52 ± 5.54 กรัมแกลลิกต่อ 100 กรัมสารสกัด ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม

สารสกัด	ตัวทำละลาย	ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม
		กรัมแควอซิตินต่อ 100 กรัมสารสกัด
ตำรับยาสมุนไพร	น้ำ	3.69 ± 0.12
	เอทานอลร้อยละ 95	4.56 ± 0.46

ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมด้วยวิธี Aluminum Trichloride พบว่าสารสกัดหยาบในตำรับยาละลายเอทานอลร้อยละ 95 มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุด รองลงมาคือสารสกัดหยาบในตำรับยาละลายน้ำเท่ากับ 4.56 ± 0.46 และ 3.69 ± 0.12 กรัมแควอซิตินต่อ 100 กรัมสารสกัด ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐาน Quercetin ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งได้สอดคล้องกับงานวิจัยของสุชาติ มาณอก และปวีณา ลิ้มเจริญ ในปี 2558 ได้นำลูกจันทร์ ดอกบุนนาค เทียนดำ โกฐกระดุก มาสกัดด้วยเอทานอล ให้สารสกัดจากสมุนไพรดังกล่าวมีสารกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ปริมาณ 471.917 ppm 229.625 ppm 171.292 ppm และ 92.333 ppm ตามลำดับ (สุชาติ มาณอก และ ปวีณา ลิ้มเจริญ, 2558)

ในงานวิจัยนี้ได้นำตำรับยาสมุนไพรมาทดสอบหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ หาปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์พบว่าตำรับยาสมุนไพรในการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากในตำรับยามีสมุนไพรหลายชนิดและมีหลายส่วนประกอบจากสมุนไพร ซึ่งได้สอดคล้องกับงานวิจัยของศิริภรณ์และคณะในปี 2561 ได้ศึกษาภูมิปัญญาพื้นบ้านในการใช้สมุนไพรจำนวน 27 ชนิด มีการนำส่วนเปลือกของสมุนไพรมาใช้ในการรักษาถึงร้อยละ 37.03 รองลงมาคือส่วนราก ร้อยละ 22.22 และทั้งต้นร้อยละ 14.81 (ศิริภรณ์ มหาโคตร และคณะ, 2561) ซึ่งในงานวิจัยนี้

ศึกษาในตำรับยาสมุนไพรที่มีกลุ่มสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS⁺ โดยทำหน้าที่การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอนและหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของกรรณิการ์ พุ่มทอง และคณะในปี 2562 ศึกษาสะเดาซึ่งเป็นสมุนไพรในตำรับยาสมุนไพรที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลในระดับที่สูง โดยนำสะเดามาสกัดหยาบจากตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 50 มีค่าเท่ากับ 137.53 ± 0.02 ไมโครกรัมแกลลิกต่อมิลลิกรัม (กรรณิการ์ พุ่มทอง และคณะ, 2562) และได้สอดคล้องกับงานวิจัยของชารินันท์และคณะในปี 2565 ได้นำขิงนำมาสกัดด้วยเอทานอลแสดงผลของสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ มีค่าเท่ากับ 10.75 ± 5.13 กรัมแกลลิกต่อ 100 กรัมสารสกัด และมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม 5.12 ± 0.96 กรัม เควอซิตินต่อ 100 กรัมสารสกัด (ชารินันท์ แจ้งกลาง และคณะ, 2565)

สรุปผลการวิจัย

ตำรับยาสมุนไพรเป็นกลุ่มยาที่ใช้ไอการในกลุ่มนอนไม่หลับ ประกอบด้วยสมุนไพรหลายชนิด เมื่อนำมาสกัดและทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS Assay และวิธี DPPH assay พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และกลุ่มสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ และคาดว่าจะสามารถนำไปประยุกต์หรือพัฒนาในรูปแบบยาอื่นๆ ได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและกลุ่มสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ จึงจำเป็นต้องทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างอื่นร่วมด้วยและความเป็นพิษต่อเซลล์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ ตลอดจนผู้ที่มีความเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ได้ให้คำแนะนำและเทคนิคต่างๆ และกลุ่มงานการแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือกโรงพยาบาลเรณูนคร จังหวัดนครพนมที่อนุเคราะห์ตำรับยาสมุนไพรเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ พุ่มทอง, จินตนา จุลทรศน์, พิษชานันท์ เขียรทองอินทร์ และ ศรัณย์ ฉวีรักษ์. (2562). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกในสมุนไพรรักษาและตำรับยาพื้นบ้านเพื่อลดภาวะของแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน. *วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, 8(1), 8-16.
- กุลิสรา อุ่นเจริญ และ วัลลภา ลีลานันทกุล. (2565). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบของสารสกัดตำรับประสมขมิ้นอ้อยและสมุนไพรรักษาในตำรับ. *วารสารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่น*. 4(2), 226-238.
- ชารินันท์ แจ่มกลาง, ศุภรัตน์ ดวนใหญ่, วรกานต์ โสมี, สิริภา ทมตะขบ และ ภัสศรี แสงสาย. (2565). การศึกษาปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณสารฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดสมุนไพรรักษา. *วารสารหมอยาไทยวิจัย*. 8(1), 93-106.
- ตำราคัมภีร์สมุฏฐานวินิจฉัยและการวินิจฉัย. (2542). *สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สุขภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สุขภาพการพิมพ์.
- ณัชชา เต็งเต็มวงศ์. (2564). ประสิทธิภาพและความปลอดภัยของตำรับยาสมุนไพรรักษาในโรคนอนไม่หลับเรื้อรัง : การศึกษาย้อนหลังเบื้องต้นในโรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศร์. *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*, 19(2), 331-343.
- นกน้อย ชูคงคา, ธัญวรรณ์ พานแก้ว, ณัฏญญา พลเสน และ ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. (2554). สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน 3 ชนิด. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(3), 339-342.
- บุหรีน พันธุ์สุวรรณ. (2556). อนุมูลอิสระสารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 21(3), 275-286.
- ศิริภรณ์ มหาโคตร, สุจารี พนมเขต, บรรลือ สังข์ทอง, วิจิต ปรกษาหาญ และ กฤษณ์ พงษ์พิรุฬห์. (2561). ภูมิปัญญาพื้นบ้านการใช้สมุนไพรรักษาโรคแผลเปื่อยในช่องปาก : กรณีศึกษาจังหวัดกาฬสินธุ์. น. 104-112. ใน: การประชุมวิชาการนำเสนอประสบการณ์และงานวิจัยการแพทย์ทางเลือกในระบบบริการสุขภาพ ครั้งที่ 1. วันที่ 6-8 มิถุนายน 2561. กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, นนทบุรี.

- สุชาดา มานอก และ ปวีณา ลิ้มเจริญ. (2558). การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดสมุนไพรในตำรับยาหอมเทพจิตร. *วารสารก้าวหน้าทันตวิทยาศาสตร์*. 15(1), 106-117.
- สุมิตา นิยมเดชา. (2564). *การศึกษาสารพฤกษเคมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และวิธีการแยกสารสำคัญในกัญชาเพื่องานทางนิติวิทยาศาสตร์*. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร).
- สำนักงานคุ้มครองภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทย. (2544). *กรมการพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. คัมภีร์ธาตุพระนารายณ์ฉบับโบราณ (ตำรับพระโอสถพระนารายณ์)*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก ในพระบรมราชูปถัมภ์ กรุงเทพฯ.
- Adwas, A. A., Elsayed, A., Azab, A. E., & Quwaydir, F. A. (2019). Oxidative stress and antioxidant mechanisms in human body. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 6(1), 43-47.
- Ainsworth, E. A., & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature protocols*, 2(4), 875-877.
- Arung, E. T., Kusuma, I. W., Purwatiningsih, S., Roh, S. S., Yang, C. H., Jeon, S., & Kondo, R. (2009). Antioxidant activity and cytotoxicity of the traditional Indonesian medicine Tahongai (*Kleinhovia hospita* L.) extract. *Journal of acupuncture and meridian studies*, 2(4), 306-308.
- Atanassova, M., Georgieva, S., & Ivancheva, K. (2011). Total phenolic and total flavonoid contents, antioxidant capacity and biological contaminants in medicinal herbs. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 46(1), 81-88.
- Dinagaran, S., Sridhar, S., & Eganathan, P. (2016). Chemical composition and antioxidant activities of black seed oil (*Nigella sativa* L.). *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(11), 4473.

- Gogoi, B., Bordoloi, M., & Sharma, H. K. (2023). Ethnomedicinal, phytochemistry, pharmacological, and clinical uses, of *Cinnamomum bejolghota* (Buch.-Ham.) Sweet. *Journal of Herbal Medicine*, 100721.
- Li, Y. R., Fu, C. S., Yang, W. J., Wang, X. L., Feng, D., Wang, X. N., & Shen, T. (2018). Investigation of constituents from *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl and evaluation of their anti-inflammatory properties in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Journal of ethnopharmacology*, 221, 37-47.
- Martin-Santos, R., Crippa, J. A., Batalla, A., Bhattacharyya, S., Atakan, Z., Borgwardt, S., Allen, P., Seal, M., Langohr, K., Farré, M., Zuardi, A. W., & McGuire, P. K. (2012). Cute effects of a single, oral dose of d9-tetrahydrocannabinol (THC) and cannabidiol (CBD) administration in healthy volunteers. *Current pharmaceutical design*, 18(32), 4966-4979.
- Ozsoy, N., Yilmaz, T., Kurt, O., Can, A., & Yanardag, R. (2009). *In vitro* antioxidant activity of *Amaranthus lividus* L. *Food chemistry*, 116(4), 867-872.
- Okuda, T., & Ito, H. (2011). Tannins of constant structure in medicinal and food plants-hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins. *Molecules*, 16(3), 2191-2217.
- Stasiłowicz-Krzemien, A., Sip, S., Szulc, P., Walkowiak, J., & Cielecka-Piontek, J. (2023). The antioxidant and neuroprotective potential of leaves and inflorescences extracts of selected hemp varieties obtained with scCO₂. *Antioxidants*, 12(10), 1827.

ศักยภาพการสะสมคาร์บอนของต้นมะเกี๋ยงพันธุ์คัดเลือกในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก

CARBON SEQUESTRATION POTENTIAL OF SELECTED VARIETIES OF

MA KIANG TREES (*Cleistocalyx operculatus* var. *paniala*)

IN PHITSANULOK PROVINCE.

อนุสรรา จบศรี¹ และ ญัฐริกา ก้าวินจันทร์^{2,*}Anussara Chopsri¹ and Nuttira Kavinchan^{2,*}

¹ สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

² สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

¹ Major of Plant Science, Faculty of Science and Agriculture Technology,

Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok

² Major of Science, Faculty of Science and Agriculture Technology,

Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok

Received: 26 November 2024

Revised: 15 December 2024

Accepted: 25 December 2024

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมของมะเกี๋ยงพันธุ์คัดเลือกในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนที่สะสมในลำต้นมะเกี๋ยงพันธุ์คัดเลือก (*Cleistocalyx operculatus* var. *paniala*) ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ดำเนินโครงการ ณ สาขาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ตั้งแต่วันที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 30 เดือนกันยายน พ.ศ. 2567 ผลการดำเนินโครงการพบว่า มีการปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 55.40 กิโลกรัมคาร์บอนต่อต้น ซึ่งแปลงเท่ากับ 1,551.24 กิโลกรัมคาร์บอน (654.79 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่) ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนต่อเฮกตาร์

* Corresponding author: ญัฐริกา ก้าวินจันทร์

E-mail: Nuttira224@rmutl.ac.th

เท่ากับ 4.09 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 15 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ และมูลค่าคาร์บอนเครดิตเท่ากับ 7,653.55 บาท (ต่อเฮกตาร์)

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน, มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน, สมการแอลโลเมตรี

Abstract

The study of carbon stock of selected Ma Kieng varieties in Phitsanulok Province aimed to study the amount of carbon stock of above ground in selected Ma Kieng varieties (*Cleistocalyx operculatus* var. *paniala*) in Phitsanulok Province. The project was conducted at the Department of Plant Science, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok from March 1, 2023 to September 30, 2024. The results of the project found that the average carbon sequestration per tree was 55.40 kilograms of carbon per tree. The entire plot was 1,551.24 kilograms of carbon (654.79 kgC/rai). The carbon sequestration per hectare was 4.09 tons of carbon per hectare. The carbon dioxide absorption was 15 tons of carbon dioxide per hectare, and the carbon credit value was 7,653.55 baht (per hectare).

Keywords: Carbon stock, Above-ground biomass, Allometric equation

บทนำ

ด้วยภาวะโลกร้อน (Global warming) ในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิของโลก โดยพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นตั้งแต่ปี 1850-2020 และกำลังเข้าสู่ภาวะวิกฤตอย่างไม่ย้อนกลับต่อระบบนิเวศ สภาพอากาศ อันเป็นภัยคุกคามประชากรโลก (BBC news Climate and Science, 2022) ซึ่งหนึ่งในสาเหตุหลักคือปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในชั้นบรรยากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีการปลดปล่อยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (World

meteorological organization, 2022) จึงทำให้เกิดนโยบาย Carbon credit (การทดแทนการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์) และตลาด Carbon เพื่อเป็นแนวทางและแรงจูงใจลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพืชเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Sink) หรือแหล่งสร้างคาร์บอนเครดิต (กาญจนา แสงลิมสุวรรณ, 2554) จากกระบวนการเมแทบอลิซึมแบบ anabolism ที่สำคัญคือการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) โดยพืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ และสังเคราะห์อาหารสะสมในรูปแบบต่างๆ สำหรับการเจริญเติบโต

ทั้งนี้จากดำเนินโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี หนึ่งในโครงการที่ดำเนินการคือ โครงการอนุรักษ์มะเขี้ยวสายพันธุ์พันธุ์คัดเลือกในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งมะเขี้ยว (*Cleistocalyx operculatus* var. *paniala*) จัดเป็นพืชอนุรักษ์ มีลักษณะยืนต้นสูง ลำต้นใหญ่ มีกิ่งขนาดใหญ่ ไม่ผลัดใบ มีผลผลิตช่วงกรกฎาคม ถึง สิงหาคม มีพื้นที่ปลูกเป็นบริเวณกว้าง ปัจจุบันมีต้นมีอายุ 7 ปี ดังนั้นในปีงบประมาณ 2567 ตามขอบเขตแผนแม่บท อพ.สธ. ที่มุ่งเน้นการหาการกักเก็บคาร์บอนในพืชอนุรักษ์ต่างๆ และการวิเคราะห์ความสอดคล้องของโครงการกับแผนยุทธศาสตร์ต่างๆ จึงมีความประสงค์ดำเนินโครงการศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมของมะเขี้ยวพันธุ์คัดเลือกในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกเพื่อเป็นข้อมูล และทราบถึงศักยภาพการสะสมปริมาณคาร์บอนในลำต้น และใช้เป็นแนวทางพิจารณาการแลกเปลี่ยนเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจสีเขียว สำหรับ carbon market อย่างยั่งยืนในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาหาปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินของต้นมะเขี้ยว ดำเนินการในแปลงอนุรักษ์มะเขี้ยว โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 30 เดือนกันยายน พ.ศ. 2567 ขนาดพื้นที่ปลูกต้นมะเขี้ยว 2 ไร่ 1 งาน 47.625 ตารางวา (3,790.50 ตารางเมตร) อายุ 7 ปี ลำต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 12 เซนติเมตร จำนวนต้นมะเขี้ยวทั้งหมด 28 ต้น โดยเก็บข้อมูลทุกต้น



รูปที่ 1 แปลงอนุรักษ์มะเกลือ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิชณุโลก
(พิกัด 16°51'42.3"N 100°11'16.4"E)

การเก็บตัวอย่างและการคำนวณปริมาณคาร์บอนในต้นมะเกลือ

วัดขนาดเส้นรอบวงของต้นมะเกลือที่ระดับสูงจากพื้น 130 เซนติเมตร และวัดความสูงโดยใช้เครื่องมือวัดระยะ (Milseey Laser Rangefinder) จากนั้นเจาะเนื้อไม้โดยการใช้สว่านเจาะเนื้อไม้ (Increment borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร นำเนื้อไม้ตัวอย่างที่ได้จากการเจาะมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเนื้อไม้ที่อบแห้งแล้ว วัดขนาดของเนื้อไม้ตัวอย่างด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ดิจิตอลเพื่อคำนวณหาปริมาตรของเนื้อไม้ เพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของเนื้อไม้ (Jantawong, 2017)

$$\text{ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (Wood density) (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของเนื้อไม้ (g)}}{\text{ปริมาตรของเนื้อไม้ (cm}^3\text{)}}$$

นำตัวอย่างเนื้อไม้ที่อบแห้งแล้วส่งไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ตัวอย่างโดยวิธีทดสอบ ASTM D 5373-16: 2016 จากห้องปฏิบัติการทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงชีวมวลและผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณหาปริมาณคาร์บอนในต้นมะเกลือ

การศึกษาครั้งนี้มีการหามวลชีวภาพเหนือดินในต้นมะเกลือจากสมการแอลโลเมตรี 3 สมการจาก Pothong et al. (2022) (สมการที่ 1) Ogawa et al. (1965) (สมการที่ 2) และ Tsutsumi et al. (1983)

$$AGB = \exp(-2.00325 + 0.84730 \ln(D^2H \times WD)) \quad (1)$$

โดยที่ AGB (Above-ground biomass) คือ มวลชีวภาพเหนือดิน (kg)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ที่ระดับอก (cm)

H คือ ความสูงของต้นไม้ (m)

WD คือ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ ($g\ cm^{-3}$)

$$WT = WS + WB + WL \quad (2)$$

$$WS = 0.0396 (D^2H)^{0.933}$$

$$WB = 0.00349 (D^2H)^{1.030}$$

$$WL = (28 / (WS+WB) + 0.025)^{-1}$$

$$WT = WS + WB + WL \quad (3)$$

$$WS = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$$

$$WB = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$$

$$WL = 0.0140 (D^2H)^{0.669}$$

โดยที่ WS คือ มวลชีวภาพเหนือดินส่วนที่เป็นลำต้น (kg)

WB คือ มวลชีวภาพเหนือดินส่วนที่เป็นกิ่ง (kg)

WL คือ มวลชีวภาพเหนือดินส่วนที่เป็นใบ (kg)

WT คือ มวลชีวภาพเหนือดินทั้งหมด (kg)

การคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในเนื้อไม้

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน = ปริมาณคาร์บอน \times มวลชีวภาพของต้นไม้
(กิโลกรัมคาร์บอนต่อต้น) หรือ (kgC/tree)

การคำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นไม้ดูดซับ (IPCC, 2006)

$$\text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับ} = \text{ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน} \times \frac{44}{12}$$

(กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตัน) หรือ (kgCO₂/tree)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ลักษณะต้นมะเกี๋ยงอายุ 7 ปี (ก) และผลของมะเกี๋ยง (ข)



(ก)

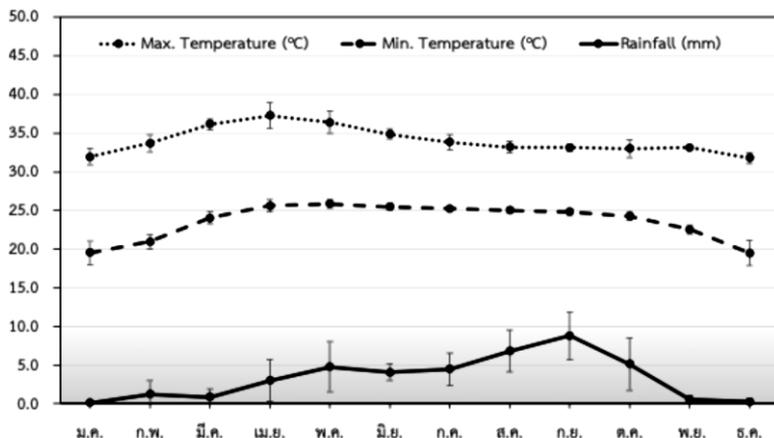


(ข)

รูปที่ 3 ตำแหน่งการเจาะเนื้อไม้ของต้นมะเกี๋ยง (ก) และเนื้อไม้หลังเจาะ (ข)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ต้นมะกัวยังเริ่มดำเนินการปลูกอนุรักษ์ในปี พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในเดือนเมษายนเท่ากับ 37.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในเดือนธันวาคม มกราคมเท่ากับ 19.5 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยในเดือนกันยายน เท่ากับ 8.8 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำฝนต่ำสุดเฉลี่ยในเดือนพฤศจิกายนถึงกรกฎาคม (< 5 มิลลิเมตร) (รูปที่ 4) ซึ่งแสดงถึงความทนแล้งของมะกัวยังเนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงที่มีปริมาณฝนน้อยยาวนาน หลังจากนั้นต้นมะกัวยังบางสายพันธุ์จะเริ่มมีดอกและให้ผลผลิตในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม (รูปที่ 2ข) ซึ่งเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูฝนจากค่าลดลงของอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝน (รูปที่ 4) จากการเจาะเนื้อไม้จากต้นมะกัวยังจำนวน 10 ต้น นำมาหั่นน้ำหนักแห้ง วัดขนาดความยาวของเนื้อไม้และเส้นผ่านศูนย์กลางเนื้อไม้ เพื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของเนื้อไม้ พบว่าค่าน้ำหนักแห้งเนื้อไม้ อยู่ระหว่าง 0.25-1.36 กรัม. ส่วนความยาวของเนื้อไม้ที่เจาะได้อยู่ระหว่าง 20.7-119.3 มิลลิเมตร. ส่วนความหนาแน่นของเนื้อไม้ที่คำนวณได้มีค่าตั้งแต่ 0.54-0.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ตารางที่ 1) จากการนำตัวอย่างเนื้อไม้จำนวน 6 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเนื้อไม้ พบว่า มีค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเนื้อไม้อยู่ระหว่าง 46.16-46.93% (ตารางที่ 2)



รูปที่ 4 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และปริมาณฝน ระหว่างปี พ.ศ. 2561-2567

(สถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ กรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2567)

ตารางที่ 1 น้ำหนักแห้ง ความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของเนื้อไม้ที่เจาะจากต้นมะเกลือ จำนวน 10 ต้น

ต้นที่	น้ำหนักแห้ง ของเนื้อไม้ (g)	ความยาว ของเนื้อไม้ (mm.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ของเนื้อไม้ (mm.)	ปริมาตร ของเนื้อไม้ (cm ³)	ความหนาแน่น ของเนื้อไม้ (g/cm ³)
1	0.90	85.5	5	1.68	0.54
2	1.36	119.3	4.6	2.34	0.58
3	0.25	20.7	5	0.41	0.61
4	1.23	115.3	5	2.26	0.54
5	1.18	106.6	5	2.09	0.56
6	0.42	34.3	4.9	0.67	0.62
7	1.27	115.1	4.7	2.26	0.56
8	1.30	102.2	5.1	2.01	0.65
9	0.94	53.0	5.0	1.77	0.53
10	1.22	109.3	5.1	2.15	0.57
ค่าเฉลี่ย	1.01±0.39	86.13±36.62	4.94±0.16	1.76±0.68	0.58±0.04

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเนื้อไม้มะเกลือ (%)

ตัวอย่างที่	ปริมาณคาร์บอน (%)
1	46.93
2	46.50
3	46.88
4	46.16
5	46.68
6	46.53
ค่าเฉลี่ย	46.61±0.28

จากการวัดค่าความสูงของต้นมะเกลือทุกต้นในแปลงพบว่า ต้นมะเกลือมีความสูงตั้งแต่ 4.1–12.2 เมตร ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 8.22±2.01 เมตร ลักษณะของต้นมะเกลือมีทั้งลำต้นเดี่ยวๆ และมีการแตกออกเป็นหลายลำต้นย่อยตั้งแต่ 2–7 ลำต้น โดยที่ขนาดเส้นรอบวงของลำต้นมีตั้งแต่ 21.5–64 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงลำต้นเท่ากับ 38.71±8.34 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความสูงและเส้นรอบวงต้นมะเกี๋ยงในแปลงทั้งหมด

ต้นที่	ความสูง (m.)	เส้นรอบวงลำต้น (cm.)							เฉลี่ย (cm.)
		ลำต้น ที่ 1	ลำต้น ที่ 2	ลำต้น ที่ 3	ลำต้น ที่ 4	ลำต้น ที่ 5	ลำต้น ที่ 6	ลำต้น ที่ 7	
1	11.8	51.5	52	33	44				45.13
2	8.6	45.5	51						48.25
3	7.7	41	28.5	44.5					38.00
4	12.2	46	53	46					48.33
5	10.8	53	60.5						56.75
6	8.4	39	38	25					34.00
7	11	45	43.5	25.5	35.5				37.38
8	9.6	57							57.00
9	6.5	42	46.5	30.5					39.67
10	7.5	40	33.5	27.5					33.67
11	7.5	25.5	34.5	47	39.5	31	28	43.5	35.57
12	6	51	45.5	35.5	27.5				39.88
13	8.6	34.5	38.5	53.5					42.17
14	6.3	33	48.5	49	40.5	27.5			39.70
15	10.5	64	35.5	52	36.5	38.5			45.30
16	6.6	32	36	43.5					37.17
17	11.1	50.5							50.50
18	7.5	48.5	35.5	45					43.00
19	6.1	36							36.00
20	8.7	34	27	27.5					29.50
21	6.3	28.5	31	29.5	28.5	21.5	24.5		27.25
22	9.4	31.5	49.5	31.5	29	37			35.70
23	4.1	26.5	25.5	27.5					26.50
24	6	26.5	23.5						25.00
25	7.1	40	38.5	36.5	25				35.00
26	8.9	33	43.5	32	29				34.38
27	7.4	38.5	21.5	28.5					29.50
28	8	48	27	26.5	32.5				33.50
ค่าเฉลี่ย	8.22±2.01								38.71± 8.34

จากการคำนวณโดยใช้สมการทั้ง 3 สมการ พบว่ามวลชีวภาพของต้นมะเข็ญรวมทั้งแปลงอยู่ที่ 3,328.12 3,336.15 และ 4,431.48 กิโลกรัมต่อแปลง ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพต่อต้นอยู่ที่ 118.86 119.15 และ 158.27 กิโลกรัมต่อต้น โดยคิดเป็นปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บได้ต่อแปลง เท่ากับ 1,551.24 1,554.98 และ 2,065.51 กิโลกรัมคาร์บอน เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 55.40 55.54 และ 73.77 กิโลกรัมคาร์บอนต่อต้น คิดเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 654.79 656.37 และ 871.87 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ตามลำดับ

ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 15.00 15.04 และ 19.98 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ และเมื่อมีการคำนวณมูลค่าคาร์บอนเครดิต โดยใช้อัตราการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในโครงการ T-VER ณ เดือนเมษายน 2567 ราคาคาร์บอนเครดิตเฉลี่ยภาคป่าไม้ 510 บาทต่อตัน มูลค่าของคาร์บอนเครดิตอยู่ที่ 7,653.55 7,672.02 และ 10,190.89 บาทตามลำดับ (ตารางที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 4 มวลชีวภาพเหนือดินของต้นมะเข็ญทั้งหมด

ต้นที่	มวลชีวภาพเหนือดิน (kg.)			ปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ (kgC)		
	สมการที่ 1	สมการที่ 2	สมการที่ 3	สมการที่ 1	สมการที่ 2	สมการที่ 3
	Pothong et al. (2022)	Ogawa et al. (1965)	Tsutsumi et al. (1983)	Pothong et al. (2022)	Ogawa et al. (1965)	Tsutsumi et al. (1983)
1	256.08	268.55	354.54	119.36	125.17	165.25
2	108.04	110.91	146.79	50.36	51.70	68.42
3	100.18	98.32	130.95	46.70	45.83	61.03
4	218.77	231.65	305.45	101.97	107.97	142.37
5	172.63	185.95	244.75	80.46	86.67	114.08
6	89.46	86.80	115.81	41.70	40.46	53.98
7	176.77	178.83	237.17	82.39	83.35	110.55
8	78.50	83.69	110.26	36.59	39.01	51.39
9	93.12	90.65	120.88	43.40	42.25	56.34
10	79.34	75.90	101.48	36.98	35.38	47.30
11	205.68	199.57	266.28	95.87	93.02	124.11
12	118.59	115.30	153.79	55.28	53.74	71.68
13	138.06	139.97	185.57	64.35	65.24	86.49
14	152.82	148.90	198.55	71.23	69.40	92.54
15	296.86	310.44	410.07	138.37	144.70	191.13

ตารางที่ 4 มวลชีวภาพเหนือดินของต้นมะเขียงทั้งหมด (ต่อ)

ต้นที่	มวลชีวภาพเหนือดิน (kg.)			ปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ (kgC)		
	สมการที่ 1	สมการที่ 2	สมการที่ 3	สมการที่ 1	สมการที่ 2	สมการที่ 3
	Pothong et al. (2022)	Ogawa et al. (1965)	Tsutsumi et al. (1983)	Pothong et al. (2022)	Ogawa et al. (1965)	Tsutsumi et al. (1983)
16	83.86	80.60	107.69	39.09	37.57	50.20
17	72.31	76.44	100.81	33.70	35.63	46.99
18	119.65	119.29	158.51	55.77	55.60	73.88
19	24.54	23.21	31.08	11.44	10.82	14.49
20	71.44	67.49	90.42	33.30	31.46	42.15
21	71.51	65.46	88.18	33.33	30.51	41.10
22	141.70	140.42	186.79	66.05	65.45	87.06
23	31.30	27.09	36.89	14.59	12.63	17.19
24	14.40	12.88	17.43	6.71	6.00	8.12
25	108.23	103.86	138.80	50.45	48.41	64.69
26	126.83	123.69	164.89	59.11	57.65	76.86
27	63.90	60.08	80.57	29.78	28.00	37.55
28	113.56	110.21	147.07	52.93	51.37	68.55
รวม	3,328.12	3,336.15	4,431.48	1551.24	1554.98	2065.51
เฉลี่ยต่อต้น	118.86	119.15	158.27	55.40	55.54	73.77

ตารางที่ 5 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนเครดิต

ค่าการคำนวณ	สมการที่ 1	สมการที่ 2	สมการที่ 3
	Pothong et al. (2022)	Ogawa et al. (1965)	Tsutsumi et al. (1983)
ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งแปลง (kg)	1,551.24	1,554.98	2,065.51
ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนต่อไร่ (kgC/rai)	654.79	656.37	871.87
ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนต่อเฮกตาร์ (tC/ha)	4.09	4.10	5.45
ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (tCO ₂ /ha)	15.00	15.04	19.98
มูลค่าคาร์บอนเครดิตต่อเฮกตาร์ (บาท)	7,653.55	7,672.02	10,190.89

หมายเหตุ: อ้างอิงจากอัตราการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในโครงการ T-VER ณ เดือนเมษายน 2567 ราคาคาร์บอนเครดิตเฉลี่ยภาคป่าไม้ 510 บาทต่อตัน

จากการหามวลชีวภาพเหนือดินของต้นมะเกี๋ยงในแปลงทั้งหมดโดยการคำนวณจากสมการแอลโลเมตรีทั้ง 3 สมการ ได้แก่ Pothong et al. (2022) (สมการที่ 1) Ogawa et al. (1965) (สมการที่ 2) และ Tsutsumi et al. (1983) (สมการที่ 3) พบว่าจากสมการที่ 1 และ 2 คำนวณได้ค่ามวลชีวภาพใกล้เคียงกัน คือ 3,328.12 และ 3,336.15 กิโลกรัมต่อแปลง ตามลำดับ ส่วนค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 3 ค่อนข้างสูงกว่า คือ 4,431.48 กิโลกรัมต่อแปลง ทั้งนี้ในสมการที่ 1 มีการนำเอาค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ WD (wood density) มาใช้ในการคำนวณซึ่งในงานวิจัยของ Pothong et al. (2022) ทำการเก็บตัวอย่างเนื้อไม้ในป่าทางเหนือของประเทศไทย ถึง 79 สปีชีส์ พบว่าความหนาแน่นของเนื้อไม้มีความแตกต่างกันซึ่งอยู่ในค่าระหว่าง 0.23-0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.52 ± 0.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนต้นมะเกี๋ยงในงานวิจัยนี้มีค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้เฉลี่ยที่ 0.58 ± 0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถือว่ามีค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ในงานวิจัยของ Pothong et al. (2022) เมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนของเนื้อไม้มะเกี๋ยงจากงานวิจัยนี้ พบว่า มีค่าเท่ากับ 46.61% ซึ่งต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเนื้อไม้ของพรรณไม้ทั่วไปที่มักใช้ในการคำนวณของ IPCC (2006) ซึ่งเท่ากับ 47% และจากงานวิจัยของ Pothong et al. (2022) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ที่ 46.73%

เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในเนื้อไม้ต่อต้น พบว่า ต้นมะเกี๋ยงมีการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 55.40 กิโลกรัมคาร์บอนต่อต้น (สมการที่ 1) สูงกว่าค่าเฉลี่ยของต้นไม้ในแปลงฟื้นฟูอายุ 14 ปี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 48.8 กิโลกรัมคาร์บอนต่อต้น (Jantawong, 2017) และยิ่งสูงกว่าคาร์บอนที่กักเก็บได้ในต้นคูณและลีลาวดี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.51 และ 27.75 กิโลกรัมคาร์บอนต่อต้น (เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และคณะ, 2561) โดยต้นมะเกี๋ยงในการศึกษาครั้งนี้มีการกักเก็บคาร์บอนต่อต้นได้ใกล้เคียงกับต้นพญาสัตบรรณซึ่งกักเก็บคาร์บอนได้ 58.06 กิโลกรัมคาร์บอนต่อต้น (เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และคณะ, 2561)

เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของแปลงมะเกี๋ยงซึ่งมีอายุประมาณ 7 ปี สามารถกักเก็บคาร์บอนได้เพียง 4.09 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ (สมการที่ 1) น้อยกว่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมได้ในไร่หมุนเวียนอายุ 7 ปี ซึ่งเท่ากับ 17.4 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ Pothong et al. (2022) อาจเนื่องด้วยความหนาแน่นของต้นมะเกี๋ยงในแปลงศึกษามีจำนวนน้อย คือ ประมาณ 14 ต้นต่อไร่ ระยะการปลูกค่อนข้างห่าง คือ ระยะปลูก 10 x 12 เมตร นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกักเก็บคาร์บอนกับป่าชุมชนบ้านหนองนาเม็ก อำเภอโคกสูง

จังหวัดสระแก้ว (บุษรา กันหอม และคณะ, 2562) และป่าชุมชนบ้านห้วยลาน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ (สุรางค์รัตน์ พันแสง และคณะ, 2565) พบว่า การกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพเหนือดินในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 4.09 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ในขณะที่ป่าชุมชนจังหวัดสระแก้วและเพชรบูรณ์ เท่ากับ 25.64 และ 80.76 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ เนื่องจากมีความหนาแน่นของต้นไม้ต่างกัน โดยการศึกษาครั้งนี้ความหนาแน่นของต้นมะเกลือเพียง 87.5 ต้นต่อเฮกตาร์ ส่วนป่าชุมชนอีก 2 แห่ง มีความหนาแน่นของต้นไม้ เท่ากับ 1,034 และ 2,438 ต้นต่อเฮกตาร์ อีกทั้งป่าชุมชนมีความหลากหลายของชนิดพรรณไม้ โดยการศึกษาของบุษรา กันหอม และคณะ (2562) ในป่าชุมชนจังหวัดสระแก้วมีการสำรวจพบพรรณไม้ทั้งหมด 39 ชนิด ส่วนการศึกษาของสุรางค์รัตน์ พันแสง และคณะ (2565) ในป่าชุมชนจังหวัดเพชรบูรณ์สำรวจพบพรรณไม้ทั้งหมดถึง 62 ชนิด

และเมื่อเปรียบเทียบการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการศึกษาครั้งนี้ต้นมะเกลือดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 15 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ น้อยกว่าปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้โดยรวมในการศึกษาของนันทิชา สนแก้ว และคณะ (2561) เท่ากับ 187.125 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ซึ่งประกอบด้วย หางนกยูงฝรั่ง หมาก จามจุรี ไทร ราชพฤกษ์ ลานและหูกระจง เป็นต้น ขนาดพื้นที่ 3.34 ไร่ จำนวนต้นไม้ 115 ต้น (34.43 ต้นต่อไร่) ในขณะที่การศึกษาครั้งนี้มีความหนาแน่นของต้นมะเกลือเพียง 14 ต้นต่อไร่

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้สมการที่ 1 ของ Pothong et al.(2022) เนื่องจากมีการนำเอาค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ WD (wood density) มาใช้ในการคำนวณในสมการ ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความหนาแน่นของเนื้อไม้แตกต่างกัน โดยแปลงมะเกลือมีการปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 55.40 กิโลกรัมคาร์บอนต่อต้น ทั้งแปลงเท่ากับ 1,551.24 กิโลกรัมคาร์บอน คิดเป็น 654.79 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนต่อเฮกตาร์ เท่ากับ 4.09 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 15 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ และมูลค่าคาร์บอนเครดิต 7,653.55 บาทต่อเฮกตาร์ โดยหากต้องการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับพื้นที่ศึกษา อาจจำเป็นต้องมีการปลูกต้นมะเกลือแทรกไปตามพื้นที่ว่างและขยายพื้นที่การปลูกเพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์อีกทั้งยังถือเป็นการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชพร้อมกันไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนวิจัยภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (อพ.สธ-มทร.ล้านนา) ประจำปี 2567 และขอขอบคุณดร.กัลยารัตน์ จันทะวงศ์ และ ดร.ฐิตินันท์ โพธิ์ทอง ที่ให้คำปรึกษาในดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา แสงลี้มสุวรรณ. (2554). ความรู้เรื่องตลาดการค้าคาร์บอนเครดิต. *วารสารปัญญาภิวัฒน์*, 3(1), 123-133.
- เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธ์, อาภาพรณ์ บุลสถาพร และ สุขุมมา ชานนท์. (2561). *มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ในพื้นที่สนามกอล์ฟกรุงเทพมหานคร*. น. 757-766. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 "งานวิชาการรับใช้สังคม". วันที่ 22 มิถุนายน 2561. มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, จังหวัดสมุทรปราการ.
- นนทิชา สนแก้ว, ปวีณนุช พันทอง, อัญญิกา นาคโถม, วรณภา โคนกระโทก, นุชนาถ แซ่มซ้อย และ อาภาภรณ์ บุลสถาพร. (2561). *ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้บริเวณลานกีฬาากลางแจ้ง มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*. น.795-804. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 "งานวิชาการรับใช้สังคม". วันที่ 22 มิถุนายน 2561. มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, จังหวัดสมุทรปราการ.
- บุษรา กันหอม, บุญธิดา ม่วงศรีเมืองดี, ปัญญา ไวยบุญญา, ประภัสสร ยอดสง่า และ ปณิตดา ลาภเก็น. (2562). ความหลากหลายของพรรณไม้และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าชุมชนบ้านหนองเม็ก อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว. *วารสารวนศาสตร์*, 38(2), 41-55.
- สถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ กรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ. (2567). *ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และปริมาณฝน ของภาคเหนือ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2567 จาก http://www.cmmet.tmd.go.th/forecast/pt/Max_Min_Rainfall.php
- สุรางค์รัตน์ พันแสง, บุญยสฤกษ์ดี บุญสวน, สุภัทรพร เดชรักษา และ พวงผกา แก้วกรม. (2565). การประเมินการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพไม้ยืนต้น กรณีศึกษาพื้นที่ป่าชุมชน

บ้านห้วยลาน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา*, 7(2): 83-91.

BBC news Climate and Science. (2022). *Climate change: Six tipping points “likely” to be crossed*. Retrieved January 27, 2024 from <https://www.bbc.com/news/science-environment-62838627>.

IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: chapter 4 forestland*. Japan: the Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

Jantawong, K. (2017). *Determination of aboveground carbon sequestration in restored forest by framework species method*. Doctor of Philosophy (Environmental Science), Chiang Mai University, Chaing Mai (Thailand).

Ogawa, H., Yoda, K., Okino, K., & Kira, T. (1965). Comparative ecological studies on three main type of forest vegetation in Thailand. II. Plant Biomass. *Nature and Life in South East Asia*, 4, 49-80.

Pothong, T., Elliott, S., Chairuangsi, S., Wirong Chanthorn, W., Shannon, D. P., & Wangpakapattanawong, P. (2022). New allometric equations for quantifying tree biomass and carbon sequestration in seasonally dry secondary forest in northern Thailand. *New Forests*, 53, 17-36.

Tsutsumi, T., Yoda, K., Sahunalu, P., Dhanmanonda, P., & Prachaiyo, B. (1983). Forest: felling, burning and regeneration. In: Kyuma, K. & Printrtra, C. (Eds.), *Shifting cultivation* (pp. 13-62). Kyoto: Kyoto University.

World meteorological organization (WMO). 2022. *More bad news for the planet: greenhouse gas levels hit new highs*. Retrieved January 27, 2024 from <https://public.wmo.int>.

Udon Thani Rajabhat University
Journal of Science and Technology

Vol.12 Issue.3 (2024)

ISSN 2287-0083

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

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

