



วารสารวิชาการ
ชายนันเทค
มรท.ภูเก็ต

ISSN 2822 - 1044 (Online)

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2568

PKRU
SCIttech
JOURNAL



วารสารวิชาการชายันเทคโนโลยี มรภ.ภูเก็ต
ISSN 2822-1044 (Online)



บรรณาธิการ

ผศ.ดร.สายธาร ทองพร้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ นัยวิกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์วิวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ศาสตราจารย์ ดร.ศุภมิตร จิตตะยโสธร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ วัฒนเสถ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี อีสระไกรศีล

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วรัญญา ศรีเดช

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.อัมพรพรรณ อีรานุตร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ชฎานิช ลือวานิช

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

รองศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา วงศ์ธนะบุรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

รองศาสตราจารย์ ดร.มุสตี พรผล

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธิดา รัตนบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการชายันท์เทค มรภ.ภูเก็ต (PKRU SciTech Journal) ฉบับนี้ได้รวบรวมบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิบทความละ 3 ท่าน จำนวน 7 บทความ ประกอบไปด้วย บทความที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางด้านเกษตรและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จำนวน 2 บทความ ได้แก่ อัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนท้องถิ่นในจังหวัดสุรินทร์เพื่อนำไปใช้ในการเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน และศักยภาพของสารสีจากเชื้อราโมแนสคัสในการเพิ่มสีผิวของปลาทองอรันดาทำให้ได้สารสกัดซึ่งสามารถใช้เป็นสารสีธรรมชาติเพื่อเพิ่มความสว่างและคุณภาพสีของปลาทองอรันดาได้โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของปลา บทความที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 2 บทความ ได้แก่ การตรวจสอบความผิดปกติของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีทีซีโดยใช้วิธีแบบป่าสุ่มทำให้ช่วยยกระดับเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบธุรกรรมทางการเงิน และการเฝ้าระวังความเสี่ยงไฟฟ้าสำรองด้วยพีซีเชิงกฎและกราฟฟิงพาสสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือและความทนทานของระบบไฟฟ้าสำรองในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ บทความทางด้านเคมี จำนวน 2 บทความ ได้แก่ คุณสมบัติเชิงสุขภาพของซาโบโกงกอบแห้งสำหรับการผลิตชาชงดื่มในพื้นที่บ้านหน้าทับ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดใบโกงกอบแห้งสำหรับการผลิตชาชงดื่ม และฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดของกากผลมะเขว่นที่สกัดน้ำมันออกแล้ว สารสกัดเหล่านี้น่าจะมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นอาหารทางการแพทย์ได้ บทความทางด้านชีววิทยา จำนวน 1 บทความ เรื่อง ความหลากหลายและการแพร่กระจายของแห่นในมหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเกี่ยวกับการนำแห่นไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป โดยทั้ง 7 บทความนี้ มีความหลากหลายในด้านวิชาการ ซึ่งทางกองบรรณาธิการคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านและส่งเสริมการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ในวงวิชาการต่อไป

วารสารวิชาการชายันท์เทค มรภ. ภูเก็ต ได้รับความร่วมมือจากทั้งผู้ประเมินบทความ (peer review) และผู้เขียนบทความในการแก้ไขจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

กองบรรณาธิการใคร่ขอเชิญชวนท่านผู้อ่านที่สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชายันท์เทค มรภ.ภูเก็ต ทั้งนี้ สามารถส่งต้นฉบับบทความผ่านในหน้าเว็บไซต์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech> เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้และพัฒนาสังคม อันจะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านและผู้สนใจต่อไป



(ผศ.ดร.สายธาร ทองพร้อม)

บรรณาธิการ

สารบัญ

| | |
|---|-------|
| อัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่น ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนท้องถิ่นในจังหวัดสุรินทร์ ต่อตระกูล เหมียนนอก และ เพชรรัตน์ พรหมทา | 1-12 |
| การตรวจสอบความผิดปกติของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีทีซี โดยใช้วิธีแบบป่าสุ่ม ณภัทร ไช่มุกด์ และ นิติเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน | 13-27 |
| การแผ่รังสีความเสี่ยงไฟฟ้าสำรองด้วยพีชชีเชิงกฏและกราฟฟังก์ชัน วรายุทธ แซ่หนา และ หาญพล มิตรวงศ์ | 28-40 |
| ศักยภาพของสารสีจากเชื้อราโมแนสคัสในการเพิ่มสีผิว ของปลาทองอรันดา ศุภมาศ ศรีวงศ์พุก, สุรัชย์ เตชะเอ้อย และ สุภาพร สัตตัง | 41-52 |
| คุณสมบัติเชิงสุขภาพของชาใบโก่งกางอบแห้งสำหรับการผลิตชาขงดื่ม ในพื้นที่บ้านหน้าทับ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ฉัตรชัย สังข์ผุด, ชุตินุช สุจริต, ฉัตรจิรา สังข์ผุด และ ผกากรอง โยธารักษ์ | 53-63 |
| ความหลากหลายและการแพร่กระจายของเห็บในมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จิราพร กรรมกร, สิริินยา ศิริมหาวรรณ และ บงกช วิชาชูเชิด | 64-77 |
| ฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดของกากผลมะแขว่น ที่สกัดน้ำมันออกแล้ว วิมลพรรณ รุ่งพรหม และ อักษรภาค แสงศรี | 78-85 |

อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่นต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนท้องถิ่นในจังหวัดสุรินทร์

The Rate of Pelletized Organic Fertilizer Application from Local Natural Materials on the Growth and Yield of Local Baby Corn in Surin Province

ต่อตระกูล เหมียदनอก และ เพชรรัตน์ พรหมทา*
Tortrakul Meadnok & Petcharat Promatar*

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Division of Agriculture, Faculty of Agriculture and Agricultural Industry,
Surindra Rajabhat University

Submitted 06/06/2025 ; Revised 15/08/2025 ; Accepted 07/09/2025

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่น เพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนทางการเกษตรในจังหวัดสุรินทร์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) มี 3 ซ้ำ 3 ทรีตเมนต์ ประกอบด้วย การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 10, 20 และ 30 กิโลกรัม/แปลง เตรียมแปลงทดลองขนาด 1.5 x 2 ตารางเมตร ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนและใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตามอัตราที่กำหนดที่ระยะห่างจากโคนต้น 10-15 เซนติเมตร เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทุก ๆ 15 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 90 วันหลังปลูก ผลการทดลองพบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดอัตรา 30 กิโลกรัม/แปลง มีผลให้การเจริญเติบโตด้านความสูงต้นข้าวโพดฝักอ่อน และความกว้างทรงพุ่มที่อายุ 45 วัน มีความแตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้อัตราดังกล่าวยังส่งผลให้ความยาวฝัก น้ำหนักฝักสดที่อายุเก็บเกี่ยว มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราอื่น เมื่อพิจารณาถึงสมบัติดิน ได้แก่ ค่าพีเอชดิน ปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมในดินหลังปลูกพบว่ามีความสูงขึ้น ดังนั้นอัตราดังกล่าวจึงเหมาะสมกับข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

คำสำคัญ: ปุ๋ยอัดเม็ด วัสดุธรรมชาติ ข้าวโพดฝักอ่อน

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: promatar.pr@sru.ac.th

Abstract

The effect of pelletized organic fertilizer from local natural materials to increase the yield of agricultural baby corn in Surin Province was studied using a randomized complete block design (RCBD) with three replications and three experimental formulas. It consisted of applying pelletized organic fertilizer at rates of 10, 20, and 30 kilograms per plot. The experimental plots were prepared with a size of 1.5 × 2 square meters. The baby corn was planted, and the pelletized organic fertilizer was applied at the specified rate at a distance of 10–15 centimeters from the base of the plant. Growth data were collected every 15 days until harvesting the produce at 90 days after planting. The experimental results showed that using organic fertilizer at a rate of 30 kilograms per plot resulted in a statistically significant difference in the height of the young corn plants and the width of the canopy at 45 days. In addition, this rate also resulted in the highest pod length and fresh pod weight at harvest compared to other rates. When considering soil properties, including soil pH, nitrogen, and potassium content after planting, these were found to be higher. Therefore, the above rate is suitable for baby corn grown in Surin Province.

Keywords: pellet fertilizer, natural materials, baby corn

บทนำ

ปุ๋ยเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตพืชทางการเกษตรเชิงเดี่ยวและการสร้างผลผลิต โดยปกติพืชจะได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ จากดิน แต่เนื่องจากพื้นที่ทำการเกษตรของประเทศไทยได้ใช้ทำการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไปจากพื้นที่เป็นระยะเวลานานและต่อเนื่อง ทำให้ธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินถูกนำออกไปด้วย ดินจึงมีปริมาณธาตุอาหารลดลงและเสียสภาพสมดุล [1] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน เพื่อให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากเกษตรกรได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาการขาดแคลนความอุดมสมบูรณ์ของดิน และต้องการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เพื่อให้ได้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด ทำให้การใช้ปุ๋ยในการผลิตพืชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทศวรรษที่ผ่านมา แต่การผลิตพืชด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ในบางพื้นที่ นอกจากจะไม่สามารถได้ผลผลิตพืชตามเป้าหมายที่ต้องการแล้วยังเพิ่มมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ในสถานการณ์ปัจจุบันซึ่งปุ๋ยเคมีมีราคาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้กระแสการปรับปรุงบำรุงดินในการผลิตพืชของเกษตรกรเปลี่ยนทิศทางการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น ตลาดการค้าปุ๋ยอินทรีย์เติบโตและขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการใช้วัตถุดิบและกรรมวิธีการผลิตที่หลากหลายมาก จากการสำรวจผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาดพบว่า ส่วนใหญ่ยังมีคุณสมบัติไม่ได้มาตรฐานตามหลักวิชาการ เกษตรกรและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องจึงควรได้รับคำแนะนำในเรื่องของการผลิต การใช้ การกำหนดมาตรฐานการผลิต และการตรวจสอบคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อให้เกษตรกรได้ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน [2] ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติและวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปรับปรุงสภาพดินให้แก่เกษตรกรและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้เห็นถึงความสำคัญ เพื่อให้มีการจัดการดินได้อย่างเหมาะสม ตลอดจนสามารถใช้ทรัพยากรดินได้อย่างยั่งยืน

เรื่องของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีในการทำการเกษตร ในปัจจุบันนี้กำลังเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากและกำลังเป็นที่ต้องการของผู้ที่รักในสุขภาพ เพราะการใช้สารเคมีเป็นเวลานานในการทำการเกษตรเป็นการทำลายสมบัติของดิน อีกทั้งยังมีสารเคมีสะสมในผลผลิตทางการเกษตรซึ่งทำให้ผู้บริโภคผลผลิตเหล่านี้เข้าไปมีโอกาสสะสมสารเคมีเข้าสู่ร่างกายและอาจส่งผลกระทบต่อในอนาคต จึงทำให้เกิดความต้องการของผู้บริโภค ที่ต้องการบริโภคผลผลิตทางการเกษตรที่เกิดจากกระบวนการทางอินทรีย์ในการทำการเกษตรในยุคของไทยแลนด์ 4.0

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่น ในการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อน
2. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน หลังการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่น ในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ทำการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่น โดยใช้เป็นปุ๋ยของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน โดยการใช้อัตราส่วนของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่แตกต่างกัน

วิธีการทำปุ๋ยหมัก

นำไปก้ามปู ขุยฝ้าย แกลบดำ และปุ๋ยคอกผสมกันอัตราส่วนที่กำหนด (1:1:1:2) ผสมคลุกเคล้าวัสดุแต่ละชนิดให้เข้ากันรดน้ำที่ผสมกับกากน้ำตาล (กากน้ำตาล 5-10 ซีซี/น้ำ 10 ลิตร) ให้มีความชื้นและอาหารเพียงพอต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เร่งการย่อยสลายวัสดุได้เร็วขึ้น หลังจากนั้นกองวัสดุให้เป็นสี่เหลี่ยมที่โรงหมักปุ๋ย คลุมด้วยพลาสติกที่เจาะรู เพื่อให้อากาศกับจุลินทรีย์ในการย่อยสลายวัสดุได้เร็วขึ้นและกองทิ้งไว้ประมาณ 14-21 วัน จึงสามารถนำมาใช้ได้ (ขึ้นอยู่กับขนาดของชั้นวัสดุ)

วิธีการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

นำปุ๋ยหมักที่ผ่านการหมักแล้วใส่เครื่องบดให้ละเอียดเพื่อสะดวกในการอัดเม็ด นำวัสดุเข้าเครื่องผสมปุ๋ยคลุกเคล้าให้เข้ากัน พร้อมใช้น้ำผสมกับกากน้ำตาล 5-10 ซีซี/น้ำ 10 ลิตร ผสมเข้ากับแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้แป้งมันสำปะหลัง 0.5 กิโลกรัม เพื่อช่วยในการจับตัวกันเป็นเม็ดของวัสดุในปุ๋ยหมัก โดยผสมกับปุ๋ยหมักที่ทำการบดละเอียดแล้วให้เข้ากัน โดยหมด ๆ ไม่ขึ้นจนเกินไป และนำปุ๋ยที่ผสมได้เข้าเครื่องอัดเม็ด นำปุ๋ยที่เป็นเม็ดแล้วไปตากในที่ร่มจนแห้งก่อนนำไปบรรจุกระสอบเก็บไว้หรือนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในปุ๋ยอินทรีย์

การวิเคราะห์ปฏิกิริยาดิน pH (ดิน:น้ำ 1:5) โดยใช้เครื่อง pH meter [3] พร้อมกับวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) โดยใช้วิธี Walkley & Black [4] หลังจากนั้นวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยวิธี Bray & Kurtz [5] และวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โดยใช้วิธีสกัดด้วย 1 N NH_4OAc pH 7 แล้ววิเคราะห์ด้วย atomic absorption spectrometer (AAS) [6]

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

| pH | Total nitrogen (%) | Available P (mg/kg) | Exchangeable K (mg/kg) |
|------|--------------------|---------------------|------------------------|
| 8.43 | 3.36 | 45.53 | 58.71 |

ตอนที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและการวางแผนงานวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) มี 3 ซ้ำ จำนวน 3 ทรีตเมนต์ ประกอบด้วย 9 แปลงทดลองย่อย ขนาด 1.5 x 2 ตารางเมตรต่อแปลง ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตามทรีตเมนต์ที่กำหนด ประกอบด้วย

ทรีตเมนต์ที่ 1 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 10 กิโลกรัม/แปลง
ทรีตเมนต์ที่ 2 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 20 กิโลกรัม/แปลง
ทรีตเมนต์ที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 30 กิโลกรัม/แปลง

โดยใส่ปุ๋ยอัดเม็ดโรยข้างร่องระยะห่างจากโคนต้นประมาณ 10–15 เซนติเมตร ใส่ตอน
ข้าวโพดฝักอ่อนอายุได้ 15 วัน นับจากวันที่ย้ายต้นกล้ามาที่แปลง

ตอนที่ 3 เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อนทุก ๆ 15 วัน โดยสุ่มเก็บ 3 ต้นต่อ
แปลงย่อย เมื่อครบ 45 วัน จะเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งแปลง บันทึกผลเป็นน้ำหนักสด และเก็บดินหลังปลูก
เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร

ตอนที่ 4 สรุปผลและวิเคราะห์ข้อมูล นำการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน
มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ
ของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น
95% โดยใช้โปรแกรม MSTAT [7]

ผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย

อัตราของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใช้มีผลให้ความสูงต้นข้าวโพดฝักอ่อนในช่วงการเจริญ
เติบโตที่ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 30 กิโลกรัม/แปลง
(T3) ให้ความสูงต้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 30.6 เซนติเมตร ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 20 และ
10 กิโลกรัม/แปลง มีความสูงต้นเฉลี่ยเท่ากับ 26.2 และ 19.9 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2)
สำหรับความสูงต้น ในการเจริญเติบโตช่วงที่ 2 (30 วันหลังปลูก) และ 3 (45 วันหลังปลูก) ไม่มี
ความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงอยู่ในช่วง 40.6–54.8 และ 99.7–119.2 เซนติเมตร
ตามลำดับ (ตารางที่ 2) แต่มีแนวโน้มว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราสูง จะให้ค่าความสูงต้นข้าวโพด
มากกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่ำ เพราะได้รับอิทธิพลจากการรดน้ำและดูแลในเรื่องของ
การกำจัดวัชพืชภายในแปลงเหมือนกันทุกแปลง

การเจริญเติบโตในด้านความสูงของข้าวโพดฝักอ่อน เมื่อเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ 3 (45 วัน) ไม่มี
ความแตกต่างกันทางสถิติ ทรีตเมนต์ที่ 1 มีการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ
99.7 เซนติเมตร ซึ่งมีแนวโน้มต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์ที่ 2 และ 3 แต่เมื่อเปรียบเทียบ
ความแตกต่างทางสถิติพบว่า การเจริญเติบโตในด้านความสูงของข้าวโพดฝักอ่อน ไม่มี
ความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงอยู่ในช่วง 99.7–119.2 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย
ของ วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และคณะ [8] ที่ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อการเกิดสารอะฟลา-
ทอกซินของเชื้อ *Aspergillus flavus* และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 3 ดำเนินการวิจัย
ในดินชุดปากช่อง ณ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เป็นระยะเวลา
120 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design)
มี 12 ตำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก 3 อัตรา คือ 0, 4 และ 6 ตัน/ไร่
ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี (16-20-0) อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ทำการปลูกเชื้อโรคพิษ *A. flavus* และทำการใส่
และไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ควบคุมโรคพิษ จากผลการวิจัยบ่งบอกให้ทราบว่าในช่วงหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต

ข้าวโพดของตำรับที่ปลูกเชื้อโรคพืชพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 4 และ 6 ตันต่อไร่ ร่วมกับจุลินทรีย์ควบคุมโรคพืชมีผลความสูงของต้นข้าวโพดเพิ่มขึ้นจาก 186.2 เซนติเมตร ในตำรับควบคุม เป็น 196.2 และ 198.9 เซนติเมตร ตามลำดับ และยังสอดคล้องกับ ประชา นาคะประเวศ และคณะ [9] ซึ่งผลของการใช้ปุ๋ยพืชสดชนิดต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อข้าวโพดหวานดำเนินการทดลองในดินชุดวาริน กลุ่มชุดดินที่ 35 ณ แปลงทดลองวิจัยของสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 มี 8 ตำรับการทดลอง คือ (1) ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยใด ๆ) (2) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 60 กิโลกรัม/ไร่ (3) โกลบปอเทือง (อัตราเมล็ดพันธุ์ 5 กิโลกรัม/ไร่) (4) โกลบปอเทืองและใส่ปุ๋ยเคมี 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ (5) โกลบปอเทืองและใส่ปุ๋ยเคมี 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ (6) โกลบปอเทืองและใส่ปุ๋ยเคมี 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ (7) โกลบปอเทืองและใส่ปุ๋ยเคมี 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ (8) โกลบปอเทืองและใส่ปุ๋ยเคมี 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ โดยใช้ข้าวโพดหวานพิเศษพันธุ์ Hawaiian sugar super-sweet ปลูกเป็นพืชทดสอบ ผลการทดลองปรากฏว่า ปอเทืองเป็นพืชปุ๋ยสดที่เหมาะสมที่สุดเพราะสามารถขึ้นได้ดีเจริญเติบโตได้ดี ให้น้ำหนักสดสูงสุด เท่ากับ 2,852.34 กิโลกรัม/ไร่ และยังสอดคล้องกับ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์ และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการปรับปรุงบำรุงดิน ชุดสติกและการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด โดยดำเนินการทดลองที่แปลงทดสอบสาธิต เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น วางแผนการทดลองทางสถิติแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก ทั้งหมด 6 ตำรับ ประกอบด้วยปัจจัยการไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ฟางข้าว และปุ๋ยเคมี เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดหวาน รวมถึงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ จากการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดหวานในตำรับที่ใส่กลบฟางข้าวจะตอบสนองสูงที่สุดโดยมีความสูงต้น 114.1 เซนติเมตร

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความสูงของข้าวโพดฝักอ่อน (เซนติเมตร)

| ทรีตเมนต์ | ระยะที่ 1 (1 พ.ย. – 16 พ.ย. 2560) | ระยะที่ 2 (17 พ.ย. – 2 ธ.ค. 2560) | ระยะที่ 3 (3 ธ.ค. – 23 ธ.ค. 2560) |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| T1 | 19.9 ^b | 40.6 | 99.7 |
| T2 | 26.2 ^{ab} | 41.9 | 104.1 |
| T3 | 30.6 ^a | 54.8 | 119.2 |
| F-test | * | ns | ns |
| C.V. (%) | 15.27 | 19.38 | 21.59 |

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยวิธีการของ DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ทรงพุ่มของข้าวโพดฝักอ่อน การเจริญเติบโตด้านทรงพุ่มในช่วงที่ 3 (อายุ 45 วัน) ทรีตเมนต์ที่ 1 การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 10 กิโลกรัม/แปลง มีการเจริญเติบโตด้านทรงพุ่มเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 91.9 เซนติเมตร ซึ่งมีแนวโน้มที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 2 ทรีตเมนต์ คือ ทรีตเมนต์ที่ 2 และทรีตเมนต์ที่ 3 แต่เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติพบว่า การเจริญเติบโตในด้านทรงพุ่มของข้าวโพดฝักอ่อน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีการเจริญเติบโตด้านทรงพุ่มอยู่ในช่วง 91.9–98.4 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตด้านทรงพุ่มของข้าวโพดฝักอ่อน (เซนติเมตร)

| ทรีตเมนต์ | ระยะที่ 1 (1 พ.ย. – 16 พ.ย. 2560) | ระยะที่ 2 (17 พ.ย. – 2 ธ.ค. 2560) | ระยะที่ 3 (3 ธ.ค. – 23 ธ.ค. 2560) |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| T1 | 18.0 ^b | 48.0 | 91.9 |
| T2 | 23.2 ^{ab} | 45.0 | 92.3 |
| T3 | 29.2 ^a | 52.4 | 98.4 |
| F-test | * | ns | ns |
| C.V.(%) | 11.29 | 19.85 | 13.61 |

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยวิธีการของ DMRT
ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

ความยาวฝักของข้าวโพดฝักอ่อน ในทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันในทางสถิติ เพราะข้าวโพดฝักอ่อนได้รับอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ในอัตราส่วนที่ต่างกัน จากการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 30 กิโลกรัม/แปลง มีผลทำให้มีค่าเฉลี่ยความยาวฝักของข้าวโพดฝักอ่อนที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 10.3 เซนติเมตร ส่วนรองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 20 กิโลกรัม/แปลง คือ มีความยาวฝักเท่ากับ 7.6 เซนติเมตร ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 10 กิโลกรัม/แปลง มีค่าเฉลี่ยความยาวข้าวโพดฝักอ่อนที่น้อยที่สุด เท่ากับ 4.4 เซนติเมตร (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยความยาวฝักของข้าวโพดฝักอ่อน (เซนติเมตร)

| ทรีตเมนต์ | ความยาว |
|-----------|-------------------|
| T1 | 4.4 ^c |
| T2 | 7.6 ^b |
| T3 | 10.3 ^a |
| F-test | * |
| C.V. (%) | 7.53 |

ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

น้ำหนักฝักสดหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดฝักอ่อนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์ แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 30 กิโลกรัม/แปลง มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝักสดสูงสุด เท่ากับ 1.0 กิโลกรัม/แปลง รองลงมาคือ ทรีตเมนต์ที่ 2 และทรีตเมนต์ที่ 1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝักสด เท่ากับ 0.7 และ 0.6 กิโลกรัม/แปลง ตามลำดับ (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประชา นาคะประเวศ และคณะ [4] ซึ่งทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยพืชสดชนิดต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อข้าวโพดหวาน ดำเนินการทดลองในดินชุดวาริน กลุ่มชุดดินที่ 35 ณ แปลงทดลองวิจัยของสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 อ.เมือง จ.ขอนแก่น วางแผนการทดลองแบบ สุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก มี 8 ตำรับการทดลอง คือ (1) ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยใด ๆ) (2) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 60 กิโลกรัม/ไร่ (3) ไถ

กลบปอเทือง (อัตราเมล็ดพันธุ์ 5 กิโลกรัม/ไร่) (4) ไถกลบโสนจีนแดง (อัตราเมล็ดพันธุ์ 5 กิโลกรัม/ไร่) (5) ไถกลบโสนอัฟริกัน (อัตราเมล็ดพันธุ์ 5 กิโลกรัม/ไร่) (6) ไถกลบปอเทืองและใส่ปุ๋ยเคมี 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ (7) ไถกลบโสนจีนแดงร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ และ (8) ไถกลบโสนอัฟริกันร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ โดยใช้ข้าวโพดหวานพิเศษพันธุ์ Hawaiian sugar super-sweet ปลูกเป็นพืชทดสอบ ผลการทดลองปรากฏว่า ปอเทืองเป็นพืชปุ๋ยสดที่เหมาะสมที่สุด เพราะสามารถขึ้นได้ดีเจริญเติบโตได้ดี ให้น้ำหนักสดสูงสุด เท่ากับ 2,852.34 กิโลกรัม/ไร่ และให้ผลผลิตฝักสด 1,398.13 กิโลกรัม/ไร่ ประชา นาคะประเวศ และคณะ [9] ทำการวิจัยเรื่อง ผลของการปลูกพืชปุ๋ยสดบางชนิดแซมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินชุดโคราช เริ่มดำเนินการเมื่อเดือน กรกฎาคม 2538 ถึง กันยายน 2540 ณ บริเวณแปลงทดลองของศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก มี 4 ซ้ำ 7 ตำรับการทดลอง คือ (1) ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปัจจัยใด ๆ) ปลูกข้าวโพดอย่างเดียว (2) ปลูกข้าวโพดแล้วใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ (3) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยปอเทือง (4) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยโสนจีนแดง (5) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยโสนอัฟริกัน (6) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยถั่วพุ่ม และ (7) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยถั่วพริ้ว อัตราเมล็ดพันธุ์ปอเทือง โสนจีนแดง และโสนอัฟริกันใช้ 5 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนถั่วพุ่มและถั่วพริ้วใช้ 8 และ 10 กิโลกรัม/ไร่ ทำการปลูกพืชปุ๋ยสดแซมข้าวโพดเมื่อข้าวโพดอายุได้ประมาณ 7 วัน หลังงอกโดยปลูกเป็นแถวในระหว่างแถวของข้าวโพดใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง คือ รองกันหลุมพร้อมปลูกและเมื่อข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ถั่วพุ่มให้น้ำหนักพืชสดดีที่สุด ก่อนการไถกลบคือ 1,200 กิโลกรัม/ไร่ ในปีแรกและ 1,124.15 กิโลกรัม/ไร่ ในปีที่สองทำให้ผลผลิตข้าวโพดสุวรรณ 3 สูงสุดเช่นกัน คือ ในปีแรกได้ 337.47 กิโลกรัม/ไร่ และ 388.42 กิโลกรัม/ไร่ และยังสอดคล้องกับ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการปรับปรุงบำรุงดินชุดสติ๊กและการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดจากการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ทำให้น้ำหนักฝักสดของข้าวโพดสูงขึ้น 341.5 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งสอดคล้องกับผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ให้รายได้สุทธิสูงสุด เท่ากับ 2,967.50 บาท/ไร่

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดฝักอ่อน (กิโลกรัม/แปลง)

| ทรีตเมนต์ | น้ำหนักฝักสด |
|-----------|--------------|
| T1 | 0.6 |
| T2 | 0.7 |
| T3 | 1.0 |
| F-test | ns |
| C.V. (%) | 29.27 |

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยวิธีการของ DMRT

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

สมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน

หลังจากการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนโดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในการให้ปุ๋ยและในการวิเคราะห์ครั้งนี้พบว่า

ปฏิกิริยาดิน (soil reaction) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีผลทำให้ค่าพีเอช (pH) ของดินหลังการทดลองในทุกพหุรีตเมนต์สูงขึ้นจาก 4.75 เป็น 6.53 ในทุกพหุรีตเมนต์เฉลี่ยรวมทั้ง 3 แปลงทดลองในพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 6) ซึ่งเป็นช่วงที่พีชส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในค่าพีเอชที่อยู่ในช่วง 5.5–6.5 ตามลำดับ [11] การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชของดินตามอัตราปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใส่ สอดคล้องกับค่าพีเอชของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้ (ตารางที่ 1)

นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และคณะ [3] ได้ทำการศึกษานิเวศวิทยาของปุ๋ยหมักต่อการเกิดสารอะฟลาทอกซินของเชื้อ *Aspergillus flavus* และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 3 พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตราตั้งแต่ 4 ตัน/ไร่ ร่วมกับจุลินทรีย์ควบคุมโรคพืชมีผลทำให้ธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใส่ปุ๋ยหมัก โดยมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 0.11 เป็น 0.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นจาก 122.0, 154.7, 206.6 และ 2673 เป็น 195.0, 290.7, 262.3 และ 329.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ประชา นาคะประเวศ และคณะ [9] ได้ทำการทดลองวิจัยเรื่อง ผลของการปลูกพืชปุ๋ยสดบางชนิดแซมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินชุดโคราช เริ่มดำเนินการเมื่อเดือนกรกฎาคม 2538 ถึง กันยายน 2540 ณ บริเวณแปลงทดลองของศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อกมี 7 ตำรับการทดลองและ 4 ซ้ำ คือ (1) ขุดควบคุม (ไม่ใส่ปัจจัยใดๆ) ปลูกข้าวโพดอย่างเดียว (2) ปลูกข้าวโพดแล้วใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ (3) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยปอเทือง (4) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยโสนจีนแดง (5) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยโสนอัฟริกัน (6) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยถั่วพุ่ม และ (7) ปลูกข้าวโพดแซมด้วยถั่วพรี อัตราเมล็ดพันธุ์ปอเทือง โสนจีนแดง และโสนอัฟริกันใช้ 5 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนถั่วพุ่มและถั่วพรีใช้ 8 กิโลกรัม/ไร่ และ 10 กิโลกรัม/ไร่ ทำการปลูกพืชปุ๋ยสดแซมข้าวโพด เมื่อข้าวโพดอายุได้ประมาณ 7 วันหลังงอก โดยปลูกเป็นแถวในระหว่างแถวของข้าวโพด การใส่ปุ๋ยเคมีนั้นแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกใส่รองกันหลุมพร้อมปลูกข้าวโพดและครั้งหลังใส่เมื่อข้าวโพดอายุได้ประมาณ 4 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าปุ๋ยพืชสดทั้ง 5 ชนิด โดยเฉลี่ยสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินชุดโคราชจากเดิม 0.55 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.60 เปอร์เซ็นต์ในปีแรก และ 0.77 เปอร์เซ็นต์ในปีที่สอง ยกเว้นระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้สูงขึ้นจาก 4.80 เป็น 5.67 และ 6.41 ในปีหนึ่งและสอง ตามลำดับ สามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ N, P, K และ ธาตุอาหารรอง คือ Ca, Mg, S มีแนวโน้มสูงขึ้นหลังสิ้นสุดการทดลอง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฉวีวรรณ เหลืองจุมพิวโรจน์และคณะ [5] ที่ได้ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการปรับปรุงบำรุงดินชุดสติกและการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน รวมถึงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ จากการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี ทำให้ปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีสทั้งหมดในดินเพิ่มสูงกว่าตำรับควบคุม ซึ่งจะเห็นเด่นชัดในตำรับที่สับกลบฟางข้าวมีปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราเฉลี่ย 10.19 และ 6.14 log no./กรัมของดินตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในดินหลังจากเก็บเกี่ยว

ผลผลิตข้าวโพดหวานที่ 75 วัน พบว่า ตำรับที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนโตรเจน 0.042 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่า ตำรับควบคุมและตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสในตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยเพิ่มขึ้นจาก 5.61 เป็น 8.26 และ 8.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนโปแทสเซียมไม่มีความแตกต่างทางสถิติแต่มีแนวโน้มว่าการใส่ ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ มีปริมาณโปแทสเซียมค่อนข้างสูงโดยเฉลี่ย 114–129 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (total N) จากตารางที่ 6 ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังปลูกข้าวโพดฝักอ่อน มีค่าเท่ากับ 2.90 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นจากเดิมเมื่อ เปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินก่อนปลูก ซึ่งมีค่าไนโตรเจนทั้งหมด 0.31 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณธาตุไนโตรเจนหลังปลูกข้าวโพดฝักอ่อนพบว่า ปริมาณธาตุ ไนโตรเจนในดินนั้น มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง เพราะมีค่าเปอร์เซ็นต์ธาตุไนโตรเจน มากกว่า 1.75 เปอร์เซ็นต์ [12] ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์ต่อการปลูกพืช ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน สอดคล้องกับไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้ (ตารางที่ 1)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) จากตารางที่ 6 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน หลังปลูกข้าวโพดฝักอ่อนมีค่า 29.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งลดลงจากดินก่อนปลูก เท่ากับ 54.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องด้วยข้าวโพดฝักอ่อนนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและสร้างอาหาร

ปริมาณโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) จากตารางที่ 6 พบว่าดินหลัง ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนมีปริมาณโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ที่ 48.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ดิน ก่อนปลูกมีปริมาณธาตุโปแทสเซียมอยู่ที่ 36.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าปริมาณธาตุโปแทสเซียม เพิ่มขึ้นจากเดิมเพราะได้รับอิทธิพลจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน

ตารางที่ 6 สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดฝักอ่อน

| ตัวอย่างดิน | pH | ไนโตรเจนทั้งหมด (%) | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg) | โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) |
|-------------|------|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| ก่อนปลูก | 4.75 | 0.31 | 54.63 | 36.87 |
| หลังปลูก | 6.53 | 2.90 | 29.20 | 48.83 |

สรุปผลการวิจัย

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่น เพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวโพด ฝักอ่อนในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับสูง ซึ่งนับเป็นข้อดีของปุ๋ย อินทรีย์ที่ผลิตได้ ขณะที่ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตรา 30 กิโลกรัม/แปลง มีผลให้ การเจริญเติบโตและผลผลิต ได้แก่ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ความยาวฝัก ผลผลิตฝักสด และสมบัติดิน ได้แก่ ค่าพีเอชดิน ปริมาณไนโตรเจน และโปแทสเซียม ในดินหลังปลูกสูงขึ้นเมื่อเทียบกับทริตเมนต์ อื่น ๆ ดังนั้นอัตราดังกล่าวจึงเหมาะสมกับข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิชาการเกษตร. (2548). ปุ๋ยอินทรีย์: การผลิต การใช้ มาตรฐานคุณภาพ. เอกสารวิชาการ ลำดับ 17/2548 กรมวิชาการ. กรุงเทพฯ: กรม.
- [2] นริลักษณ์ ชูรวเวช. (2549). ควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์. เอกสารวิชาการ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [3] พัชรี อธิจินดาจร. (2552). คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29–38.
- [5] Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*. 59(1), 39–45.
- [6] Isaac, R. A., & Kerber, J. D. (1971). Atomic absorption and flame photometer: Techniques and uses in soil, plant and water analysis (pp. 17–37). In Walsh, L. M. (ed). *Instrumental Methods for analysis of soil and plant tissue*. Soil Science Society of America, Madison, USA.
- [7] Nissen, Oe. (1984). MSTAT: A microcomputer program for statistical analyses of experiments and surveys (pp. 555–559). In Riley, H., & Skjelvåg, A. O. (eds). *The impact of climate on grass production and quality: Proceedings of the 10th General meeting of the European Grassland Federation*. Norwegian State Agricultural Research Stations, Ås, Norway.
- [8] วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์, อุดม ภูพิพัฒน์, พัทยากร ลิ้มทอง, ประสิด ธรรมเขต, เสียงแจ้ว พิริยพจน์, ประชุม จุฑาวรรณนะ, และประวัติ ต้นบุญเอก. (2541). อิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อการเกิดสารอะฟลาทอกซินของเชื้อรา *Aspergillus flavus* และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (หน้า 229–243). ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการกรมพัฒนาที่ดิน ครั้งที่ 5. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.
- [9] ประชา นาคะประเวศ, เสียงแจ้ว พิริยพจน์, และธัชมน ภัสราเยียงยงค์. (2549). ผลของการปลูกพืชปุ๋ยสดบางชนิดแซมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินชุดโคราช (หน้า 738–744). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44. สาขาพืช กรุงเทพมหานคร.
- [10] ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์, เสียงแจ้ว พิริยพจน์, และ วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์. (2543). การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการปรับปรุงดินชุดสติ๊ก การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพด. ใน เอกสารวิชาการกองอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

- [11] กรมพัฒนาที่ดิน. (2554). คู่มือแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับการปลูกพืชเศรษฐกิจรายเขต ประจำปีการเพาะปลูก 2554-2556 เขตคลองสามวา. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [12] สุรศักดิ์ เสรีพงศ์. (2527). ปฐพีศาสตร์เบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

การตรวจสอบความผิดปกติของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี
โดยใช้วิธีแบบป่าสุ่ม
Anomaly Credit Card System Detection in EDC Network
Using Random Forest Algorithm

ณภัทร ไช่มุกด์ และ นิติเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน*
Napat Kaimuk & Nithizethe Mhuadthongon*

แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
Digital Technology, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University

Submitted 10/09/2025 ; Revised 17/10/2025 ; Accepted 05/11/2025

บทคัดย่อ

ธุรกิจบัตรเครดิตในประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยคาดว่าจะยอดการใช้จ่ายผ่านบัตรจะขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 8-9 ต่อปีในช่วงปี 2567-2568 อย่างไรก็ตาม ระบบเครือข่ายสำหรับการทำธุรกรรมยังคงประสบปัญหาการขัดข้องบ่อยครั้ง ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการทั้งด้านความสะดวก ความเชื่อมั่น และประสิทธิภาพในการทำงาน เครื่องมือที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังไม่สามารถตรวจสอบและตอบสนองได้อย่างทันทั่วถึง ทำให้ปัญหาการขัดข้องของระบบยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกเหตุการณ์ผิดปกติในระบบบัตรเครดิตเครือข่ายอีดีซี โดยใช้ข้อมูลบันทึกเหตุการณ์ในอดีตร่วมกับข้อมูลแฟ้มล็อกจากอุปกรณ์อีดีซี รวมทั้งสิ้น 5,011 ชั่วโมง อัลกอริทึมที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ ป่าสุ่ม และเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด ผลการประเมินประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่ใช้อัลกอริทึมป่าสุ่มสามารถให้ค่าความถูกต้อง 99.96% ความแม่นยำ 99.90% ความครอบคลุม 99.90% และค่าประสิทธิภาพโดยรวม 99.90% สรุปได้ว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาเป็นต้นแบบสำหรับเครื่องมือตรวจสอบความผิดปกติของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี เพื่อยกระดับเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบธุรกรรมทางการเงิน

คำสำคัญ: การเรียนรู้ของเครื่อง การตรวจสอบความผิดปกติ แฟ้มล็อก เครือข่ายอีดีซี

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: Nithizethe.Mhu@stou.ac.th

Abstract

The credit card business in Thailand continues to show steady growth, with spending projected to increase by an average of 8–9 percent annually during 2024–2025. However, the transaction network still faces frequent disruptions, which directly affect users in terms of convenience, trust, and operational efficiency. Existing monitoring tools cannot provide timely responses, resulting in recurring system malfunctions. This study aims to develop an appropriate machine learning model for classifying abnormal events in the credit card Electronic Data Capture (EDC) network. To achieve this, historical event records were combined with log files from EDC devices, totaling 5,011 hours of operational data. The algorithms considered included Decision Tree, Random Forest, and K-Nearest Neighbors. The performance evaluation revealed that the Random Forest algorithm achieved the best results, with accuracy, precision, recall, and overall efficiency of 99.96%, 99.90%, 99.90%, and 99.90%, respectively. The results indicate that the Random Forest algorithm is the most suitable method for developing a prototype tool to detect anomalies in credit card systems within the EDC network, thereby enhancing the stability and reliability of financial transactions.

Keywords: machine learning, anomaly detection, log file, EDC network

บทนำ

ในปัจจุบันนวัตกรรมทางการเงินของโลกมีการเปลี่ยนแปลง และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยได้รับแรงขับเคลื่อนจากเทคโนโลยีดิจิทัลแบบก้าวกระโดด ส่งผลให้เกิดบริการทางการเงินดิจิทัล (digital financial service) รูปแบบใหม่ ๆ ขึ้น เช่น กระเป๋าเงินดิจิทัล (e-wallet) สกุลเงินดิจิทัล (digital currencies) และการชำระเงินทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-payment) [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การชำระเงินทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถือเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตในยุคดิจิทัล เนื่องจากช่วยให้ธุรกรรมทางการเงินและกิจกรรมทางเศรษฐกิจดำเนินไปได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน และเสริมสร้างเสถียรภาพให้กับระบบบริหารจัดการการเงินการคลังของประเทศ นอกจากนี้ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบการชำระเงินทางอิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานระบบการชำระเงินแห่งชาติ (national e-payment master plan) ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ทั้งในด้านความสามารถในการแข่งขัน (competitiveness) ความยาก-ง่ายในการประกอบธุรกิจ (ease of doing business) และดัชนีการพัฒนามนุษย์ (human development index) [2]

จำนวนการใช้บัตรเครดิตได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีความสะดวกสบาย สามารถสะสมคะแนนและสิทธิพิเศษ ช่วยบริหารกระแสเงินสด และยังสามารถไปโรมันหรือข้อเสนอพิเศษต่าง ๆ [3] ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทยระบุว่า ในปี 2558 มีผู้ถือบัตรเครดิตจำนวน 21.8 ล้านใบ [4] ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการเติบโตของการใช้บัตรเครดิตอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลสำคัญต่าง ๆ ที่มีธุรกรรมจำนวนมาก มักทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ และเมื่อเกิดความผิดปกติ ระบบจะหยุดชะงักจนไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ปัญหานี้จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการสมรรถนะของระบบบัตรเครดิต ทั้งในด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ อีกทั้งยังสะท้อนถึงความจำเป็นในการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลจากแฟ้มล็อก (log files) เพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาความไม่เสถียรที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีการบริหารจัดการระบบบัตรเครดิตทั้งด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ แต่ยังคงพบปัญหาความไม่เสถียรของระบบ โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลที่มีการทำธุรกรรมจำนวนมาก ระบบมักหยุดชะงักและไม่สามารถให้บริการได้ตามปกติ จากข้อมูลสถิติพบว่าช่วงเวลาที่ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศขัดข้อง (downtime) ส่งผลกระทบต่อการให้บริการของธนาคารพาณิชย์ มีค่าเฉลี่ยสูงถึงครั้งละ 2 ชั่วโมง 15 นาที [5] ปัญหานี้ส่วนหนึ่งเกิดจากข้อจำกัดของเครื่องมือเฝ้าตรวจสอบระบบ (monitoring tool) ซึ่งยังไม่สามารถตอบสนองได้ทันทั่วทั้ง เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบันมุ่งเน้นการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์โดยรวม เช่น การทำงานของซีพียู หน่วยความจำ และพื้นที่จัดเก็บข้อมูล แต่ไม่ได้วิเคราะห์เชิงลึกจากแฟ้มล็อก [6] เพื่อคาดการณ์ความผิดปกติได้ล่วงหน้า ส่งผลให้เกิดระบบเทคโนโลยีขัดข้องเป็นเวลายาวนานและกระทบต่อผู้ใช้บริการในวงกว้าง

ดังนั้นหนึ่งในแนวทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น คือการประยุกต์ใช้แนวคิดการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งปัจจุบันเริ่มมีการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ในการเงินและการธนาคารมากขึ้น [7] เพื่อเพิ่มศักยภาพในการตรวจสอบและคาดการณ์ความผิดปกติ

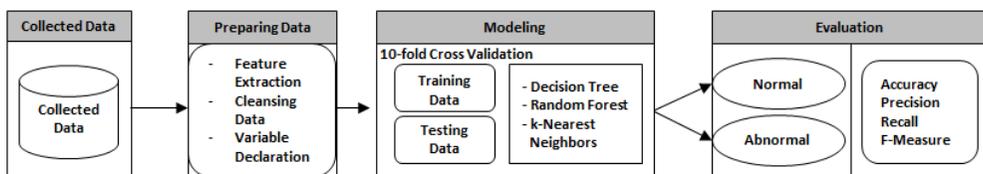
ในระบบทางการเงิน โดยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องสามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจากบริการทางการเงินที่หลากหลาย [8] ช่วยให้การวิเคราะห์และการคาดการณ์มีความแม่นยำมากขึ้น ตลอดจนสนับสนุนการวางแผนและการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9] จากประเด็นปัญหาด้านสมรรถนะของระบบบัตรเครดิตที่ยังขาดเสถียรภาพ และศักยภาพของการเรียนรู้ของเครื่องที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการบูรณาการทั้งสองแนวคิดเข้าด้วยกัน โดยนำเสนอการพัฒนาแบบจำลองเพื่อตรวจสอบความผิดปกติของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบให้มีความเสถียรเพิ่มขึ้น [10] รวมถึงช่วยลดโอกาสการหยุดชะงักของระบบ ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างเชื่อมั่นต่อผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่นำมาประยุกต์ใช้ประกอบด้วย ต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) ป่าสุ่ม (random forest) และเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-nearest neighbors) โดยจะทำการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 อัลกอริทึม ด้วยค่าความถูกต้อง (accuracy) ค่าความแม่นยำ (precision) ค่าความครบถ้วน (recall) และค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) [11, 12]

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการตรวจสอบความผิดปกติของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง
2. เพื่อหาตัวแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับนำไปพัฒนาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การรวบรวมข้อมูล (collected data)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลแฟ้มล็อกที่ได้จากอุปกรณ์เครือข่ายของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 5,014 ชั่วโมง ซึ่งประกอบไปด้วย 7 คุณสมบัติ ดังนี้ (1) จำนวนรายการเข้า (2) จำนวนรายการออก (3) ขนาดของข้อมูลขาเข้า (4) ขนาดของข้อมูลขาออก (5) จำนวนการเชื่อมต่อสำเร็จ (6) จำนวนการเชื่อมต่อไม่สำเร็จ (7) จำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมด ข้อมูลดังกล่าวถูกผสมเข้ากับข้อมูลเหตุขัดข้องของระบบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน จากนั้นได้ทำการติดป้ายกำกับสถานะการทำงานของระบบ (labeling) ให้กับชุดข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สถานะปกติ

(normal) จำนวน 4,048 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 80.70% และสถานะการทำงานผิดปกติ (abnormal) จำนวน 963 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 19.30% หลังผ่านกระบวนการคัดเลือกและทำความสะอาดข้อมูล ได้ข้อมูลทั้งสิ้น 5,011 แถว ที่พร้อมใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการพัฒนาแบบจำลองการตรวจสอบความผิดปกติ

2. การเตรียมข้อมูล (preparing data)

2.1 การคัดเลือกข้อมูล (feature extraction) จากข้อมูลที่ได้จากแฟ้มล็อกของอุปกรณ์เครือข่ายผสมกับการติดป้ายกำกับสถานะการทำงาน พบว่าทุกคุณลักษณะมีผลกับสถานะการทำงาน ของระบบ (correlation analysis) ซึ่งประกอบด้วย 7 คุณลักษณะกับ 1 เป้าหมาย (target) โดยรายละเอียดคุณลักษณะที่นำมาสร้างตัวแบบจำลองที่ในงานวิจัย แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดคุณลักษณะที่นำมาสร้างแบบจำลอง

| ลำดับ | ชื่อคุณลักษณะ | ชนิดตัวแปร | คำอธิบาย |
|-------|---------------------------------|------------|---|
| 1 | จำนวนรายการเข้า | Integer | จำนวนรายการข้อมูลที่ได้รับจากระบบประมวลผล |
| 2 | จำนวนรายการออก | Integer | จำนวนรายการข้อมูลที่ส่งไปยังจากระบบประมวลผล |
| 3 | ขนาดของข้อมูลขาเข้า | Integer | ขนาดของข้อมูลที่ได้รับจากระบบประมวลผล |
| 4 | ขนาดของข้อมูลขาออก | Integer | ขนาดของข้อมูลที่ส่งไปยังระบบประมวลผล |
| 5 | จำนวนการเชื่อมต่อสำเร็จ | Integer | จำนวนการเชื่อมต่อกับระบบประมวลผลที่สำเร็จ |
| 6 | จำนวนการเชื่อมต่อไม่สำเร็จ | Integer | จำนวนการเชื่อมต่อกับระบบประมวลผลที่ไม่สำเร็จ |
| 7 | จำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมด | Integer | จำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมด |
| 8 | สถานะการทำงานของระบบ (เป้าหมาย) | Binomial | สถานะการทำงานของระบบ: การทำงานปกติ (normal) หรือ การทำงานผิดปกติ (abnormal) |

2.2 การทำความสะอาดข้อมูล (cleansing data) จากการตรวจสอบข้อมูลแฟ้มล็อก พบว่ามีบางแถวที่ประกอบด้วยค่าที่ขาดหาย (missing values) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องและความสมบูรณ์ของแบบจำลองที่พัฒนา จากข้อมูลที่รวบรวมได้พบว่ามี 3 แถว ที่เป็นพบความไม่สมบูรณ์ จึงทำการตัดแถวนั้นออกเพื่อรักษาคุณภาพของชุดข้อมูลให้มีความสมบูรณ์ คงเหลือข้อมูล 5,011 แถว ที่ใช้สำหรับการนำไปประมวลผลและวิเคราะห์ต่อไป

2.3 การกำหนดค่าตัวแปร (variable declaration) ข้อมูลที่ได้จากแฟ้มล็อกเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (integer) ในขณะที่ข้อมูลที่ทำการติดป้ายกำกับสถานะการทำงานของระบบ (label) ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรแบบทวิภาค (binominal variable) โดยแบ่งออกเป็น 2 ค่า ได้แก่ สถานะการทำงานปกติ และสถานะการทำงานผิดปกติ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นตัวแปรเป้าหมาย (target variable) ในกระบวนการจำแนกประเภทได้อย่างเหมาะสม

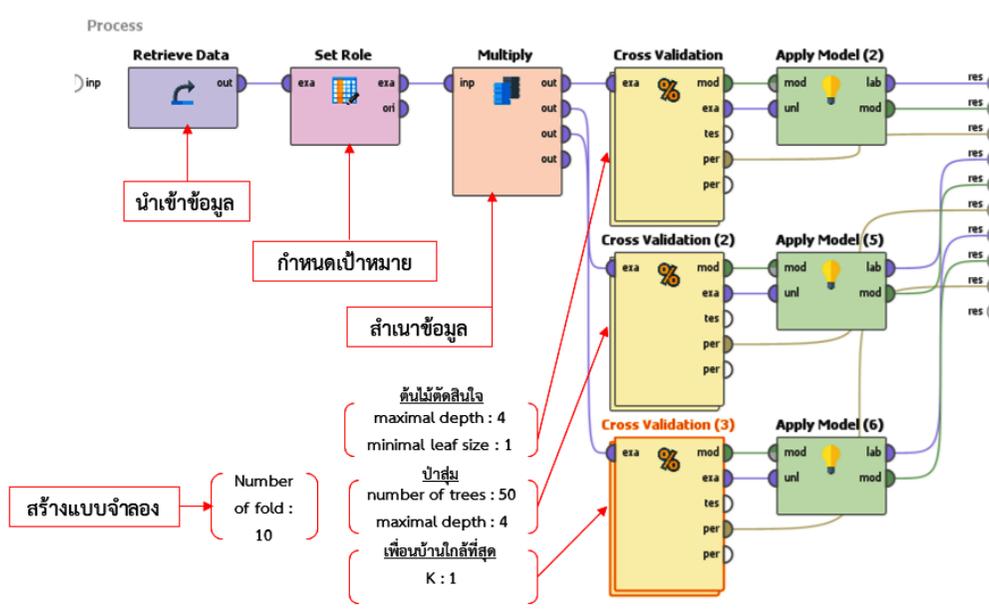
3. การพัฒนาแบบจำลอง (modeling) กระบวนการพัฒนาแบบจำลองประกอบด้วย 2 กระบวนการย่อย ดังนี้

3.1 การออกแบบการสร้างแบบจำลอง งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการสร้างแบบจำลองโดยการแบ่งข้อมูลใช้สำหรับฝึกและสำหรับทดสอบ 9:1 ซึ่งใช้หลักการทดสอบแบบไขว้ทับ 10 ส่วน (10-fold cross validation) ทำให้ข้อมูลทุกส่วนจะถูกสลับเป็นข้อมูลสำหรับฝึกและข้อมูลสำหรับทดสอบ วนจนครบ 10 รอบ ซึ่ง 10-fold เป็นค่าที่เหมาะสมกับจำนวนข้อมูลในงานวิจัยนี้ ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ข้อมูลทุกตัวจะถูกใช้ในการฝึกและทดสอบ และยังช่วยลดความเอนเอียงของข้อมูลได้ดี [13] สามารถอธิบายการทำงานของการทำงานของการทดสอบแบบไขว้ทับ 10 ส่วน ได้ดังภาพที่ 2

| | training set | | | | | | | | | testing set |
|-----------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|----|-------------|
| รอบที่ 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 |
| รอบที่ 2 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 2 |
| รอบที่ 3 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 3 |
| รอบที่ 4 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 4 |
| รอบที่ 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 5 |
| รอบที่ 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 6 |
| รอบที่ 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 7 |
| รอบที่ 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 8 |
| รอบที่ 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 9 |
| รอบที่ 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

ภาพที่ 2 การแบ่งข้อมูลแบบ 10-fold cross validation

3.2 การพัฒนาแบบจำลอง งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอน ได้แก่ อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่ม และอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด ในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับตรวจสอบความผิดปกติของธุรกรรมบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี โดยดำเนินการผ่านโปรแกรม RapidMiner ทั้ง 3 อัลกอริทึม แสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเชื่อมต่อเพื่อหาค่าประสิทธิภาพแบบจำลองทั้ง 3 อัลกอริทึม ด้วยโปรแกรม RapidMiner

ต้นไม้ตัดสินใจ เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอน (supervise learning) ที่นิยมใช้ในงานจำแนกประเภท (classification) ซึ่งเข้าใจง่ายได้ผลดีและเป็นรากฐานของป่าสุ่ม [14] โดยหลักการทำงานจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยตามเงื่อนไขที่กำหนด ผ่านการตัดสินใจในลักษณะ “ถ้า-แล้ว” (If-Then) ซ้ำไปเรื่อย ๆ จนได้ผลลัพธ์สุดท้าย การสร้างต้นไม้ตัดสินใจอาศัย ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) เช่น ค่าเอนโทรปี (entropy) หรือค่าดัชนีจีนิ (Gini index) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 1

$$Gini(t) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (1)$$

โดยที่

t คือ โหนดที่ต้องการวัดค่า Gini

n คือ จำนวนคลาสทั้งหมดในโหนดนั้น

Pi คือ สัดส่วนของข้อมูลในโหนดที่อยู่ในคลาสที่ i

(จำนวนสมาชิกคลาส i หารด้วยจำนวนสมาชิกทั้งหมดในโหนด)

การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์จำนวน ลำดับชั้น (maximal depth) และจำนวนโหนด (minimal leaf size) จากข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัย พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือจำนวนลำดับชั้นเท่ากับ 4 และจำนวนโหนดเท่ากับ 1 โดยได้ผลการพัฒนาแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ

| จำนวนลำดับชั้น | จำนวนโหนด | ค่าความถูกต้อง (ระบบไม่ปกติ) | ค่าความแม่นยำ (ระบบไม่ปกติ) | ค่าความครบถ้วน (ระบบไม่ปกติ) | ค่าประสิทธิภาพโดยรวม |
|----------------|-----------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | 1 | 80.78 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 99.88 | 99.90 | 99.48 | 99.69 |
| 3 | 1 | 99.84 | 99.69 | 99.48 | 99.58 |
| 4 | 1 | 99.94 | 99.79 | 99.90 | 99.84 |
| 5 | 1 | 99.94 | 99.79 | 99.90 | 99.84 |
| 6 | 1 | 99.94 | 99.79 | 99.90 | 99.84 |

ป่าสุ่ม เป็นอัลกอริทึมที่พัฒนาต่อยอดจากอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ โดยเป็นการรวมหลายต้นไม้ตัดสินใจ (ensemble learning) พบว่ามีหลาย ๆ งานวิจัยใช้อัลกอริทึมป่าสุ่มในการจำแนกข้อมูลแล้วได้ผลประสิทธิภาพสูง [15] ป่าสุ่มใช้วิธีการทดสอบกับข้อมูลชุดเดียวกันหลาย ๆ ครั้ง (instance) ผ่านการสุ่มตัวอย่างแบบมีการแทนที่ (bootstrap sampling) เพื่อสร้างชุดข้อมูลสำหรับการฝึกในแต่ละต้นไม้ ทั้งนี้ในการสร้างต้นไม้แต่ละต้นจะสุ่มเลือกเฉพาะคุณลักษณะบางส่วน (random subset of features) มาใช้ในการแบ่งข้อมูลที่แต่ละโหนด ส่งผลให้ต้นไม้แต่ละต้นมีความแตกต่างกัน สำหรับการทำนายผล ระบบจะรวมผลลัพธ์จากต้นไม้ทั้งหมดเข้าด้วยกัน และในการจำแนกประเภทจะใช้วิธีการโหวตเสียงข้างมาก (majority voting) เพื่อเลือกคลาสที่มีการโหวตสูงสุด

การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้อัลกอริทึมป่าสุ่ม ผู้วิจัยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์จำนวนลำดับชั้น (maximal depth) เท่ากับ 4 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของอัลกอริทึมเป็นค่าเริ่มต้น พบว่าจำนวนต้นไม้ที่ให้ผลดีที่สุดเท่ากับ 50 ผลการพัฒนาแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้อัลกอริทึมป่าสุ่ม

| จำนวนต้นไม้ | จำนวนลำดับชั้น (ระบบไม่ปกติ) | ค่าความถูกต้อง | ค่าความแม่นยำ (ระบบไม่ปกติ) | ค่าความครบถ้วน (ระบบไม่ปกติ) | ค่าประสิทธิภาพโดยรวม |
|-------------|------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 25 | 4 | 99.92 | 99.79 | 99.79 | 99.79 |
| 50 | 4 | 99.96 | 99.90 | 99.90 | 99.90 |
| 75 | 4 | 99.94 | 99.79 | 99.90 | 99.84 |
| 100 | 4 | 99.94 | 99.79 | 99.90 | 99.84 |
| 125 | 4 | 99.94 | 99.79 | 99.90 | 99.84 |
| 150 | 4 | 99.94 | 99.79 | 99.90 | 99.84 |

เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอนในกลุ่มการจำแนกประเภท ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้กับเทคนิคการทดสอบแบบไขว้พับ (k-fold cross validation) [16] โดยหลักการการทำงานคือการหาตัวอย่างข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลใหม่มากที่สุดจำนวน k ตัวอย่าง (neighbors) แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการตัดสินใจเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ กระบวนการคำนวณอาศัยการวัดระยะทางระหว่างข้อมูลใหม่กับข้อมูลทั้งหมดในชุดข้อมูลฝึก (training data) จากนั้นเลือกตัวอย่างที่ใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัวอย่าง และในการจำแนกประเภทจะนับจำนวนคลาสของ k ตัวอย่างนั้น ก่อนที่จะเลือกคลาสที่ปรากฏมากที่สุดเป็นผลลัพธ์สุดท้าย สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2

$$\text{dist}(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

โดยที่

$\text{dist}(x, y)$ คือ ระยะห่างระหว่างข้อมูลตัวอย่าง x กับตัวอย่าง

n คือ จำนวนคุณลักษณะทั้งหมดของข้อมูลตัวอย่าง

x คือ คุณลักษณะตัวที่ i ของข้อมูลตัวอย่าง x และ

y คือ คุณลักษณะตัวที่ i ของข้อมูลตัวอย่าง y

การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้อัลกอริทึมป่าสุ่มมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์จำนวน k อ้างอิงจากงานวิจัย [16] โดยได้ผลการพัฒนาแบบจำลอง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

| จำนวน k | Cross validation | ค่าความถูกต้อง (ระบบไม่ปกติ) | ค่าความแม่นยำ (ระบบไม่ปกติ) | ค่าความครบถ้วน (ระบบไม่ปกติ) | ค่าประสิทธิภาพโดยรวม |
|-----------|------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | 10 | 99.92 | 99.79 | 99.79 | 99.79 |
| 3 | 10 | 99.86 | 99.69 | 99.58 | 99.64 |
| 5 | 10 | 99.90 | 99.79 | 99.69 | 99.74 |
| 7 | 10 | 99.84 | 99.58 | 99.58 | 99.58 |

4. การวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง (evaluation)

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในแต่ละอัลกอริทึมที่ได้ โดยการเปรียบเทียบค่าที่แบบจำลองทำนายกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง และแสดงในรูปแบบของตารางที่เรียกว่าเมทริกซ์สับสน (confusion matrix) ตารางดังกล่าวช่วยให้เห็นภาพรวมของความถูกต้องในการจำแนกแต่ละคลาส ตลอดจนสามารถระบุประเภทของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้คลาสการทำงานผิดปกติ (abnormal) เป็นกลุ่มที่ผู้วิจัยให้ความสนใจ (positive case) สำหรับรูปแบบตารางเมทริกซ์สับสนแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เมทริกซ์สับสน

| pred. \ true | true abnormal | true normal |
|-------------------------------|---------------|-------------|
| pred. abnormal (Postive Case) | TP | FP |
| pred. normal | FN | TN |

โดยที่

TP คือ ค่าที่โปรแกรมทำนายถูกต้อง (ข้อมูลการทำงานผิดปกติ ทำนายว่าการทำงานผิดปกติ)

TN คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายถูกต้อง (ข้อมูลการทำงานปกติ ทำนายว่าการทำงานปกติ)

FP คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายไม่ถูกต้อง (ข้อมูลการทำงานผิดปกติ ทำนายว่าการทำงานปกติ)

FN คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายไม่ถูกต้อง (ข้อมูลการทำงานปกติ ทำนายว่าการทำงานผิดปกติ)

ค่าความถูกต้อง (accuracy) เป็นการประเมินโดยดูภาพรวมว่ามีค่าความถูกต้องของคลาสการทำงานผิดปกติ (abnormal) อธิบายได้ดังสมการที่ 3

$$Accuracy (abnormal) = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3)$$

ค่าความแม่นยำ (precision) แบบจำลองที่มีค่าความแม่นยำสูง หมายถึง ผลการทำนายตรงกับค่าความเป็นจริงของคลาสการทำงานผิดปกติ (abnormal) อธิบายได้ดังสมการที่ 4

$$Precision (abnormal) = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

ค่าความครบถ้วน (recall) มีลักษณะคล้ายกันกับค่าความแม่นยำ แต่จะหารด้วยค่าที่ทำนายที่เกิดขึ้นจริง โดยค่าความครบถ้วนของคลาสการทำงานผิดปกติ (abnormal) อธิบายได้ดังสมการที่ 5

$$Recall (abnormal) = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) เป็นค่าที่ใช้วัดความแม่นยำของโมเดล โดยเป็นการหาค่าเฉลี่ยแบบ harmonic mean ระหว่างค่าความแม่นยำ และค่าความครบถ้วน อธิบายได้ดังสมการที่ 6

$$F - measure = \frac{2 \times (Precision \times Recall)}{(Precision+Recall)} \quad (6)$$

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลการทำงานของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี ใช้ชุดข้อมูลจำนวน 5,011 ชุด ประกอบด้วยคุณลักษณะ (feature) จำนวน 8 ตัวแปรและคลาส (class) จำนวน 2 ประเภท ได้แก่ กลุ่มข้อมูลปกติ และกลุ่มข้อมูลไม่ปกติ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบไขว้ทบ 10 ส่วน สำหรับผลการจำแนกข้อมูลทั้ง 3 อัลกอริทึม ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ให้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการจำแนกข้อมูลโดยใช้วิธีการทดสอบแบบไขว้ทบ 10 ส่วน (10-fold Cross Validation)

ต้นไม้ตัดสินใจ accuracy: 99.94%

| | True abnormal | True normal | Class precision |
|----------------|---------------|-------------|-----------------|
| Pred. abnormal | 962 | 2 | 99.79% |
| Pred. normal | 1 | 4,046 | 99.98% |
| Class recall | 99.90% | 99.95% | |

ป่าสุ่ม accuracy: 99.96%

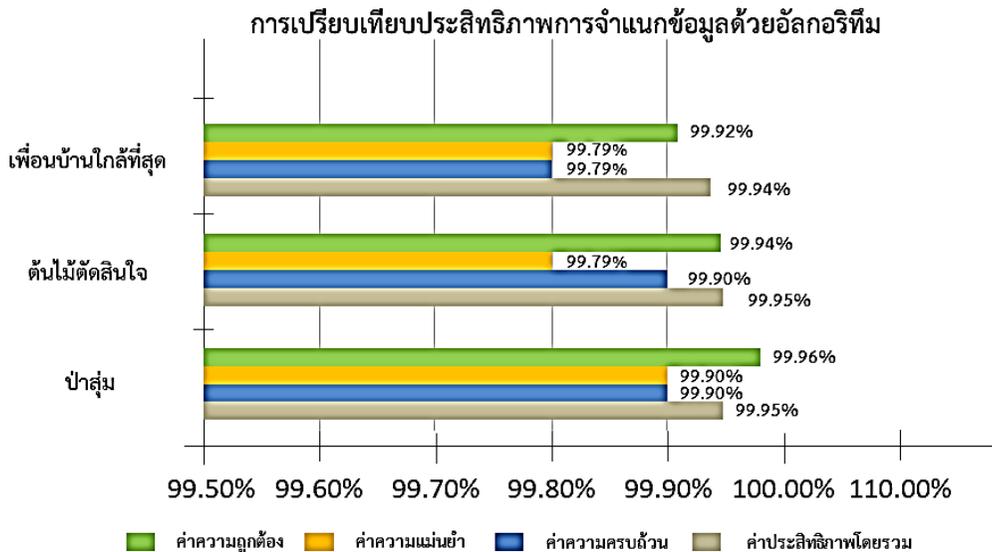
| | True abnormal | True normal | Class precision |
|----------------|---------------|-------------|-----------------|
| Pred. abnormal | 962 | 1 | 99.90% |
| Pred. normal | 1 | 4,047 | 99.98% |
| Class recall | 99.90% | 99.98% | |

เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด accuracy: 99.92%

| | True abnormal | True normal | Class precision |
|----------------|---------------|-------------|-----------------|
| Pred. abnormal | 961 | 2 | 99.79% |
| Pred. normal | 2 | 4,046 | 99.95% |
| Class recall | 99.79% | 99.95% | |

จากตารางที่ 6 พบว่าแบบจำลองที่สร้างจากอัลกอริทึมป่าสุ่ม มีความถูกต้องในการทำนายว่าระบบผิดปกติมากที่สุดคือร้อยละ 99.96 ค่าความแม่นยำร้อยละ 99.90 ค่าความครบถ้วนร้อยละ 99.90 และค่าประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 99.95 รองลงมาเป็นอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ มีความถูกต้องในการทำนายว่าระบบผิดปกติร้อยละ 99.94 ค่าความแม่นยำร้อยละ 99.79 ค่าความครบถ้วนร้อยละ 99.90 และค่าประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 99.95 และอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด มีความถูกต้องในการทำนายว่าระบบผิดปกติร้อยละ 99.92 ค่าความแม่นยำร้อยละ 99.79 ค่าความครบถ้วนร้อยละ 99.79 และค่าประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 99.94 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 อัลกอริทึม พบว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด โดยเฉพาะในด้านค่าความถูกต้องและค่าความแม่นยำที่คงที่และมีค่าสูงกว่าอัลกอริทึมอื่นเล็กน้อย ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการจำแนกข้อมูลที่มีความเสถียรและน่าเชื่อถือมากกว่า ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลตามแนวคิด predictive modeling ได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลด้วย 3 อัลกอริทึม

จากภาพที่ 4 ตัวแบบจำลองที่สร้างจากอัลกอริทึมป่าสุ่มที่มีความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความครบถ้วน และค่าประสิทธิภาพโดยรวมด้วยโปรแกรม RapidMiner โดยใช้วิธีการแบ่งข้อมูล 9:1 ด้วยการทดสอบแบบไขว้ทบ 10 รอบ

อภิปรายผลการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลสถานะการทำงานของระบบทั้ง 3 อัลกอริทึม พบว่าอัลกอริทึมป่าสุ่ม ร่วมกับวิธีการทดสอบแบบไขว้ทบ 10 ส่วน ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยถ้าพิจารณาโครงสร้างของป่าสุ่มพบว่ามีโครงสร้างแบบต้นไม้หลายต้น (ensemble) และใช้ค่าเฉลี่ยจากต้นไม้หลายต้น ส่งผลให้มีความแม่นยำสูงและลดโอกาสการเกิด overfitting ได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัย [15, 17] ที่พบว่าเทคนิคการจำแนกข้อมูลด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่มให้ประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลได้ดีกว่าทุกเทคนิคที่นำมาเปรียบเทียบ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างต้นแบบจำลองสำหรับตรวจสอบการทำงานของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี โดยอาศัยข้อมูลจากแฟ้มล็อกของอุปกรณ์เครือข่าย ซึ่งเก็บคุณลักษณะของรายการบัตรเครดิตที่ผ่านเข้าออกระบบประมวลผล ผลการวิเคราะห์พบว่า คุณลักษณะต่าง ๆ ของข้อมูลมีผลต่อการทำงานของระบบอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากหลักการทำงานบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซีนั้นทุกรายการจะมีการส่งเข้าไปประมวลผลและส่งกลับไปให้ตัวเครื่องเพื่อแจ้งสถานะผลการอนุมัติรายการซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ผ่านเข้าออกผ่านอุปกรณ์เครือข่ายนั้นวิเคราะห์ถึงการทำงานของระบบได้ วิธีการเรียนรู้ของเครื่องสามารถจำแนกข้อมูลจากแฟ้มล็อกได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัย [15, 18] การประเมินประสิทธิภาพของการจำแนกแฟ้มล็อกของไฟล์วอล โดยอัลกอริทึมป่าสุ่มให้ความแม่นยำสูงสุด

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองในครั้งนี้พบว่า อัลกอริทึมป่าสุ่มเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบความผิดปกติของระบบบัตรเครดิตในเครือข่ายอีดีซี โดยใช้ข้อมูลแฟ้มล็อกจากอุปกรณ์เครือข่ายอีดีซี จำนวน 8 ตัวแปร ได้แก่ (1) จำนวนรายการเข้า (2) จำนวนรายการออก (3) ขนาดข้อมูลขาเข้า (4) ขนาดข้อมูลขาออก (5) จำนวนการเชื่อมต่อสำเร็จ (6) จำนวนการเชื่อมต่อไม่สำเร็จ (7) จำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมด และ (8) สถานะการทำงานของระบบ ตัวแปรเหล่านี้สามารถบ่งชี้การทำงานของระบบบัตรเครดิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่า อัลกอริทึมป่าสุ่มสามารถจำแนกข้อมูลที่สะท้อนถึงการทำงานที่ไม่ปกติของระบบได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงในระดับ 99.90% การปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลได้และช่วยลดการใช้ทรัพยากรระบบได้ อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้อัลกอริทึมหรือการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ดังนั้น ผู้วิจัยควรพิจารณาศึกษาและเปรียบเทียบอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องประเภทอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูล และนำไปต่อยอดพัฒนาเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบความผิดปกติของระบบในลักษณะเดียวกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกลักษณ์ เขตจัตุรัส. (2567). มนุษย์กับการใช้ชีวิตในยุคดิจิทัล. วารสารเมธีวิจัย, 1(3), 25–30.
- [2] เจษฎา ศรีเพชร, และมนตรี โสคติยานุรักษ์. (2564). สังคมไร้เงินสด: จากเศรษฐกิจแบบใช้เงินสดสู่เศรษฐกิจแบบไร้เงินสดในประเทศไทย. วารสารสังคมศาสตร์และมานุษยวิทยาเชิงพุทธ, 6(7), 84–98.
- [3] พิมพ์พรรณ คำจิม. (2567). แนวทางพัฒนากลยุทธ์การตลาดในการส่งเสริมการใช้บัตรเครดิตของกลุ่ม Generation Y ในยุคดิจิทัล. สารนิพนธ์ปริญญาการจัดการมหาบัณฑิต วิทยาการจัดการ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [4] ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2568). การให้บริการบัตรเครดิตแยกตามประเภทบัตรเครดิต. [ออนไลน์], สืบค้นจาก https://app.bot.or.th/BTWS_STAT/statistics/BOTWEBSTAT.aspx?reportID=757&language=th (1 กรกฎาคม 2568).

- [5] ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2568). รายงานข้อมูลสถิติระบบเทคโนโลยีสารสนเทศขัดข้องกระทบต่อการให้บริการสำคัญของธนาคารพาณิชย์. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://www.bot.or.th/th/statistics/system-failure-disclosure.html> (1 กรกฎาคม 2568).
- [6] ธนาธาร ภัทรกวิน, และประภาส จงสถิตย์วัฒนา. (2559). การตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักรจากแฟ้มล็อกในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ด้วยต้นไม้ตัดสินใจ. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, 4(2),10-17.
- [7] Achary, R., & Shelke, J. C. (2023). Fraud detection in banking transaction using machine learning (pp. 221–226). In International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electronics (IITCEE). IEEE.
- [8] Hossain George, M. Z., Alam, M. K., & Hasan, M. T. (2023). Machine learning for fraud detection in digital banking: A systematic literature review. *ASRC Procedia: Global Perspectives in Science and Scholarship*, 3(1), 37–61.
- [9] สกฤตกาญจน์ ทองคำ, และนุวิทย์ วิวัฒน์วัฒนา. (2565). การเรียนรู้ของเครื่องเพื่อการทำนายการผิดนัดชำระของลูกค้าหนี้บัตรเครดิต (หน้า 37–48). ใน การประชุมวิชาการ วิทยาการข้อมูล ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [10] Fathima, A., Shree Devi, G., & Gulzar, Z. (2023). Cyber security reinforcement through firewall log analysis and machine learning. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(10), 8574–8580.
- [11] ไพศาล สิมาลาเต่า, และจรัญ แสนราช. (2562). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลปัจจัยสนับสนุนการเรียนรู้การศึกษาระบบเปิดด้วยสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ในระดับอุดมศึกษา. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 10(1), 66–74.
- [12] จุฑาทิพย์ ทิพย์พูล, และนิเวศ จิระวิชิตชัย. (2559). การจำแนกจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นสแปมโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. รัตนบุรี*, 6(1), 102–109.
- [13] Darapureddy, N., Karatapu, N., & Battula, T. K. (2019). Research of machine learning algorithms using K-fold cross validation. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6S), 215–218.
- [14] ชิตพงษ์ กิตตินราดร. (2563). ต้นไม้ตัดสินใจ [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://guopai.github.io/ml-blog09.html> (1 กรกฎาคม 2568).
- [15] Al-Tarawneh, B. A., & Bani-Salameh, H. (2022). Classification of firewall logs actions using machine learning techniques and deep neural network [EasyChair Preprint No. 8317]. EasyChair.
- [16] Tarapitakwong, J., Chartrungruang, B., Somhom, S., & Tantranont, N. (2017). A classification model for predicting standard levels of OTOP's wood handicraft products by using the K-nearest neighbor. *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, 25(2), 135–141.

- [17] พีรศุขม์ ทองพ่วง, และจรัญ แสนราช. (2567). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลเพื่อทำนายการได้รับทุนการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี โดยใช้เทคนิควิธีการทำเหมืองข้อมูล. วารสารการพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย, 8(2), 44–52.
- [18] Rahman, M. H., Islam, T., Rana, M. M., Tasnim, R., Mona, T. R., & Sakib, M. M. (2023). Machine learning approach on multiclass classification of internet firewall log files [Preprint]. arXiv.

การเฝ้าระวังความเสี่ยงไฟฟ้าสำรองด้วยฟuzzyเชิงกฎและกราฟพึ่งพา

Risk Surveillance for Backup Power Systems Using Rule-Based Fuzzy Inference and Dependency Graphs

วรายุทธ แซ่หนา* และ หาญพล มิตรวงศ์
Warayut Saena* & Hanphon Mitwong

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
Industrial Technology Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

Submitted 19/09/2025; Revised 23/09/2025; Accepted 15/11/2025

บทคัดย่อ

การจ่ายไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องมีความสำคัญต่อโรงงานอุตสาหกรรมในภาคใต้ฝั่งอันดามัน หากเกิดการหยุดชะงักเพียงไม่กี่วินาทีอาจทำให้การผลิตหยุดชะงักและกระทบความต่อเนื่องทางธุรกิจ ระบบเฝ้าระวังเครื่องสำรองไฟฟ้าเดิมที่อาศัยวิธีเกณฑ์คงที่มีกสร้างสัญญาณเตือนเกินความจำเป็นหรือเตือนซ้ำในช่วงวิกฤต งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเฟรมเวิร์กกราฟฟuzzy ซึ่งประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก ได้แก่ ระบบอนุมานฟuzzyแบบลิเนียร์โอเวอร์แลป (LO-FIS) ที่ใช้การกำหนดเกณฑ์เทรชโฮลด์แทนการแปลงค่าฟuzzyเป็นค่าจริง เพื่อสร้างเอาต์พุตทวิภาค (0 = ปกติ, 1 = วิกฤต) และกราฟพึ่งพาที่สะท้อนการแพร่กระจายความเสี่ยงจากเครื่องสำรองไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์สำคัญ เฟรมเวิร์กถูกติดตั้งบน raspberry Pi และเชื่อมต่อกับเครื่องสำรองไฟ Syndrome HE-RT-1-3K ในการทดลองได้มีการจำลองเหตุขัดข้องที่ควบคุมได้หลายระดับ พร้อมบันทึกข้อมูลต่อเนื่องรวม 72 ชั่วโมง ครอบคลุมช่วงโหลดหลากหลาย จำนวนข้อมูล 4,321 ตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ให้ค่าความแม่นยำ 99.32%, ความสามารถในการตรวจจับ 97.14%, และคะแนน F1 เท่ากับ 98.07% มีการแจ้งเตือนผิดพลาดเพียง 1 ครั้ง และสร้างระยะเวลาแจ้งเตือนล่วงหน้า เฉลี่ยประมาณ 30 วินาทีก่อนเหตุไฟดับจริง แนวทางนี้จึงสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือและความทนทานของระบบไฟฟ้าสำรองในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้าสำรอง ตรรกะฟuzzy ทฤษฎีกราฟ การเฝ้าระวังและแจ้งเตือน

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: warayut@pkru.ac.th

Abstract

Continuous power supply is critical for factories in Thailand's Andaman region because even short interruptions can stop production and affect business continuity. Conventional UPS monitoring with fixed thresholds often creates too many alarms or alerts too late during critical events. This paper presents a fuzzy-graph framework with two main parts: (1) a linear overlap fuzzy inference system (LO-FIS) that uses threshold mapping instead of defuzzification to produce binary outputs (0 = normal, 1 = critical), and (2) a dependency graph that shows how risk can propagate from the UPS to other devices. The framework is implemented on a raspberry Pi and connected to a Syndome HE-RT-1-3K UPS. We inject controlled faults at different levels and record data continuously for 72 hours, covering a wide range of loads (4,321 samples). The results show that our method achieves precision 99.32%, recall 97.14%, and F1-score 98.07%, with only one false alarm, and provides an average lead time of about 30 seconds before actual outages. These outcomes indicate improved reliability and resilience for industrial backup power systems.

Keywords: backup power systems, fuzzy logic, graph theory, monitoring and alarming

บทนำ

จังหวัดฝั่งอันดามันของภาคใต้ประเทศไทยมีบทบาทเชิงเศรษฐกิจที่สำคัญ ทั้งในด้านอุตสาหกรรมการผลิตและภาคบริการ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมปาล์ม น้ำมันและยางพาราซึ่งถือเป็นแหล่งวัตถุดิบหลักในการผลิตและการส่งออกที่สร้างรายได้มหาศาลให้แก่ประเทศ ขณะเดียวกันภาคการท่องเที่ยวและบริการในพื้นที่ดังกล่าว ยังมีความสำคัญต่อการสร้างรายได้และการจ้างงานที่มีความเชื่อมโยงโดยตรงกับเศรษฐกิจท้องถิ่นและเศรษฐกิจมหภาคของประเทศ [1, 2] การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลจึงเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนศักยภาพทางเศรษฐกิจของภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งศูนย์ข้อมูล (data center) และระบบควบคุมอัตโนมัติที่อาศัยการประมวลผลแบบเรียลไทม์ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก และการเชื่อมโยงข้อมูลในห่วงโซ่อุปทาน ความต่อเนื่องและความเสถียรของระบบโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินงานด้านอุตสาหกรรมและบริการ หากเกิดความสะดุดหรือการหยุดชะงักของระบบไฟฟ้า อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตปาล์ม น้ำมันและยางพารา รวมถึงก่อให้เกิดความเสียหายต่อฐานข้อมูลด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน ซึ่งเป็นหัวใจหลักของการจัดการอุตสาหกรรมสมัยใหม่ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อระบบบริการนักท่องเที่ยวที่ต้องพึ่งพาการจัดการข้อมูลแบบบูรณาการความล้มเหลวของระบบจึงอาจนำไปสู่การสูญเสียรายได้ การเสียโอกาสทางธุรกิจ และต้นทุนสูงในการกู้คืนระบบ [3, 4]

อุตสาหกรรมการผลิตและภาคบริการโดยส่วนใหญ่มักใช้แนวทางการแก้ไขปัญหาความไม่ต่อเนื่องของระบบไฟฟ้าด้วยการติดตั้งเครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS) เพื่อทำหน้าที่ป้องกันเบื้องต้นและรักษาการดำเนินงานของระบบให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง [5] อย่างไรก็ตาม วิธีการเฝ้าระวังการทำงานของสำรองไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไปโดยอาศัยเกณฑ์การแจ้งเตือนแบบคงที่ (fixed thresholds) กลับก่อให้เกิดข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะปัญหาการแจ้งเตือนที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น เช่น การแจ้งเตือนจากการทดสอบแบตเตอรี่ตามรอบ การตกคร่อมแรงดันในช่วงเวลาสั้น หรือความผันผวนของโหลดเพียงชั่วคราว ซึ่งล้วนส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดภาวะอ่อนล้าจากสัญญาณเตือน (alarm fatigue) และลดทอนประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อสถานการณ์จริง [6] ในทางกลับกัน เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติที่มีความรุนแรงจริง เช่น การขาดหายของไฟฟ้ากระแสสลับ (AC failure) ระบบการแจ้งเตือนกลับมีแนวโน้มที่จะล่าช้า เนื่องจากต้องรอให้ค่าพารามิเตอร์ด้านไฟฟ้าลดลงถึงเกณฑ์วิกฤตก่อนที่จะส่งสัญญาณเตือน [7] ความล่าช้านี้ไม่เพียงทำให้ผู้ปฏิบัติงานสูญเสียโอกาสในการเตรียมการรับมืออย่างทันท่วงที แต่ยังอาจนำไปสู่ความเสียหายรุนแรงต่อสายการผลิต ฐานข้อมูลด้านโลจิสติกส์ รวมถึงระบบบริการที่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานด้านดิจิทัลอย่างมีเสถียรภาพอีกด้วย จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า งานวิจัยจำนวนมากมุ่งใช้แนวทางการประมวลผลด้วยตรรกะฟัซซี (fuzzy logic) เพื่อจัดการกับความไม่แน่นอนของสัญญาณจากเครื่องสำรองไฟฟ้า [8–10] ขณะที่อีกส่วนหนึ่งใช้ทฤษฎีกราฟ (graph theory) ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงโครงสร้าง โดยเฉพาะการประเมินผลกระทบแบบลูกโซ่ (cascading effects) [11] ถึงแม้ทั้งสองแนวทางจะมีศักยภาพ แต่ยังไม่มียานใดที่บูรณาการจุดแข็งของทั้งสองวิธีเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถรองรับทั้งความไม่แน่นอนและความซับซ้อนเชิงโครงสร้างของระบบไฟฟ้าได้พร้อมกัน

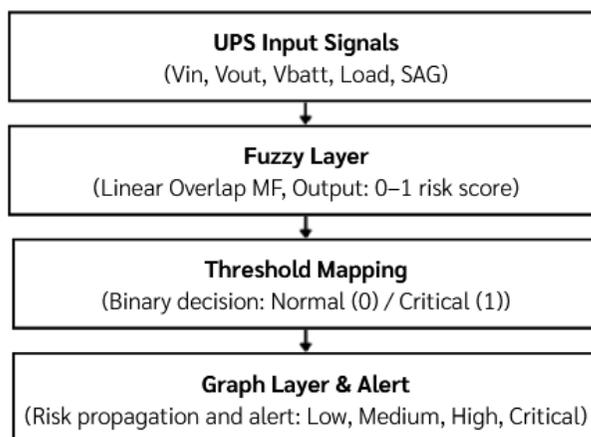
ดังนั้น การพัฒนาเฟรมเวิร์กกราฟฟัซซีที่บูรณาการระบบอนุมานฟัซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลป (linear overlap fuzzy inference system, LO-FIS) เข้ากับกราฟพึ่งพา (dependency graph) สามารถยกระดับความแม่นยำในการเฝ้าระวัง พร้อมทั้งลดการแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็นของเครื่องสำรองไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเฟรมเวิร์กกราฟฟัซซีสำหรับตรวจจับความผิดปกติและวิเคราะห์ผลกระทบของเครื่องสำรองไฟฟ้า
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพเฟรมเวิร์กบนระบบจริงด้วยการจำลองเหตุขัดข้อง (fault injection) และตัวชี้วัดหลัก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกราฟฟัซซีเพื่อนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาแนวทางวิจัย
2. พัฒนาเฟรมเวิร์กกราฟฟัซซี (ภาพที่ 1) และนำเสนอเฟรมเวิร์กที่ผสานระบบอนุมานฟัซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเข้ากับกราฟพึ่งพาเพื่อให้สามารถลดการแจ้งเตือนผิดพลาด และวิเคราะห์การแพร่กระจายของผลกระทบได้พร้อมกัน เฟรมเวิร์กกราฟฟัซซีถูกติดตั้งบน Raspberry Pi 4 ซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดี่ยวที่นิยมใช้สำหรับงานประมวลผลที่ขอบเครือข่าย (edge computing) เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ขนาดกะทัดรัด และรองรับการทำงานแบบเรียลไทม์ โดยขั้นตอนการทำงานภายในเฟรมเวิร์กกราฟฟัซซีประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้



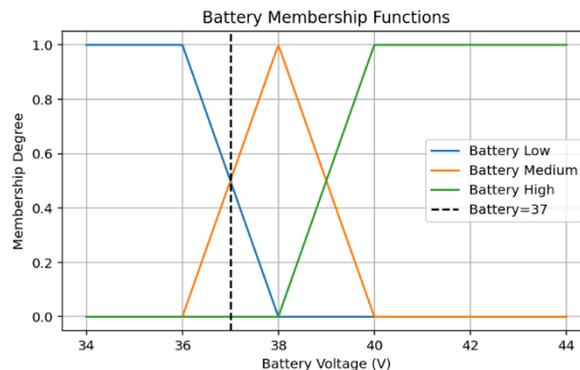
ภาพที่ 1 สถาปัตยกรรมเฟรมเวิร์กกราฟฟัซซี

ขั้นตอนการทำงานภายในเฟรมเวิร์กประกอบด้วย

1) ชั้นสัญญาณการทำงานเครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS input signals layer) ทำหน้าที่รับข้อมูลสัญญาณจากเครื่องสำรองไฟฟ้า โดยใช้งานคอมพิวเตอร์แบบฝังตัว Raspberry Pi 4 เชื่อมต่อกับเครื่องสำรองไฟฟ้ารุ่น Syndrome HE-RT-1-3K ผ่านซอฟต์แวร์ PowerWalker WinPower จัดเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของพารามิเตอร์หลัก ประกอบด้วย แรงดันขาเข้า (V_{in}) แรงดันขาออก (V_{out}) แรงดันแบตเตอรี่ (V_{batt}) และภาระโหลด (Load) ซึ่งถูกนำมาคำนวณค่าความต่างศักย์ตกคร่อม (SAG) อย่างต่อเนื่องต่อเนื่อง 72 ชั่วโมง ได้ชุดข้อมูล 4,321 ตัวอย่าง ระหว่างการบันทึกมีการจำลองเหตุขัดข้องแบบสุ่มเวลา โดยการหยุดบ่อนแรงไฟฟ้าเข้าเครื่องสำรองไฟฟ้าตามระยะเวลา ได้แก่ สั้น (2–8 วินาที) กลาง (10–20 วินาที) และ ยาว (30–60 วินาที) ภายใต้ระดับโหลดประมาณ 30%, 60% และ 90% ตามลำดับ

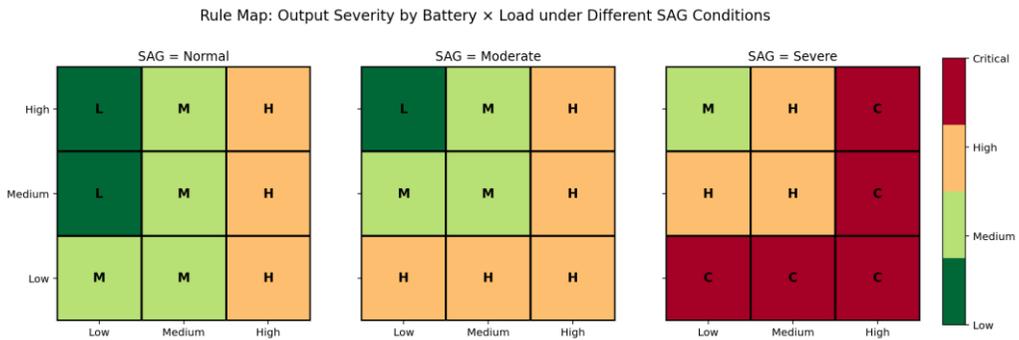
2) ชั้นฟัซซี (Fuzzy layer) ข้อมูลที่ได้จากระบบเครื่องสำรองไฟฟ้าถูกส่งผ่านเข้าสู่ชั้นฟัซซี โดยประยุกต์ใช้ระบบอนุมานฟัซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเพื่อแปลงค่าตัวแปรเชิงปริมาณให้อยู่ในรูปค่าฟัซซีที่มีช่วงค่าระหว่าง 0 ถึง 1 การประมวลผลในชั้นดังกล่าวส่งผลให้ได้ค่าฟัซซี ผลลัพธ์ดังกล่าวยังไม่ถือเป็นค่าการประเมินขั้นสุดท้าย แต่ทำหน้าที่เป็นข้อมูลเชิงฟัซซีสำหรับการประมวลผลในลำดับถัดไป

3) ชั้นการกำหนดเกณฑ์เทรชโฮลด์ (threshold mapping) ผลลัพธ์ค่าความเสี่ยงเชิงต่อเนื่องที่ได้จากชั้นฟัซซีจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลด์ (threshold, T) เพื่อจำแนกผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปแบบทวิภาค ได้แก่ 0 หมายถึงปกติ และ 1 หมายถึงวิกฤต (ภาพที่ 2) ผลลัพธ์นี้ทำหน้าที่เป็นค่าความเสี่ยงเริ่มต้นก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการคำนวณในขั้นตอนถัดไป



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Functions)

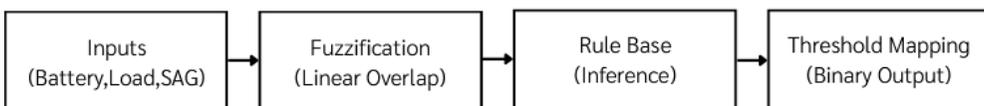
เมื่อได้ทำการกำหนดฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปร ระบบจะทำการสร้างกฎอนุมาน (inference rules) เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่นำเข้าสู่ระบบและระดับความเสี่ยงที่ระบบคำนวณได้ กฎอนุมานดังกล่าวถูกออกแบบให้ครอบคลุมความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่เกิดจากการรวมค่าของตัวแปร ได้แก่ แบตเตอรี่ ภาระโหลด และค่าความต่างศักย์ตกคร่อม สามารถสรุปผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในรูปของแผนที่กฎ (rule map) ซึ่งประกอบด้วยจำนวนทั้งสิ้น 27 กรณีตามชุดค่าผสมของตัวแปรทั้งสาม (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 Rule map ของ Mamdani FIS

อย่างไรก็ตาม ระบบอนุมานเชิงตรรกะคลุมเครือแบบแมมดานี (Mamdani FIS) ยังมีข้อจำกัดเรื่องความไม่ต่อเนื่องของระดับการเตือนและความไวต่อสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกันแบ่งเกณฑ์ เพื่อแก้ปัญหานี้ งานวิจัยนี้จึงใช้ระบบอนุมานฟัซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเป็นกลไกหลักของเฟรมเวิร์กกราฟฟัซซี สำหรับการประเมินความเสี่ยงของระบบเครื่องสำรองไฟฟ้า โดยใช้สัญญาณการทำงานจากเครื่องสำรองไฟฟ้าประกอบด้วยข้อมูล แบตเตอรี่ ภาระโหลด และค่าความต่างศักย์ตกรวม มาผ่านการแปลงค่าเป็นฟัซซีด้วยฟังก์ชันสมาชิก และกฎ IF-THEN แบบเดียวกับระบบอนุมานเชิงตรรกะคลุมเครือแบบแมมดานี วิธีการนี้ให้ผลเป็นคะแนนความเสี่ยงต่อเนื่อง $r \in [0,1]$ แทนการแปลงเป็นระดับการเตือนแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ชั้น ตามแนวทางดั้งเดิมที่ต้องแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าจริง ซึ่งมักไวต่อสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกัน

จากนั้นระบบอนุมานฟัซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปจะทำการกำหนดเกณฑ์เทรชโฮลด์ โดยใช้เกณฑ์เทรชโฮลด์ที่ 0.5 เป็นจุดกึ่งกลาง แล้วค่อยปรับตามบริบทเพื่อหาค่าที่สมดุลที่สุด เพื่อสร้างผลลัพธ์ทวิภาค $y \in \{0,1\}$ โดยนิยาม $y=1$ เมื่อ $r \geq \tau$ (เสี่ยงสูงสุด) และ $y=0$ เมื่อ $r < \tau$ (เสี่ยงต่ำสุด) ผลลัพธ์ y ในแต่ละช่วงเวลา t จะถูกกำหนดเป็นความเสี่ยงเริ่มต้น ($R(t)$) ก่อนเข้าสู่ชั้นกราฟ เพื่อคำนวณการแพร่กระจายความเสี่ยง (risk propagation) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 โครงสร้างการทำงานของระบบอนุมานฟัซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลป

4) ชั้นกราฟ (graph layer) และการแจ้งเตือน ผลลัพธ์จากระบบอนุमानพีซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลป ถูกนำเข้าสู่กราฟพึ่งพาซึ่งแทนอุปกรณ์ UPS-Server-Switch ในระบบ เพื่อคำนวณการแพร่กระจายของความเสี่ยง โดยผลลัพธ์สุดท้ายจะถูกจัดระดับการแจ้งเตือนเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ต่ำ, กลาง, สูง และวิกฤต โดยการแจ้งเตือนนี้ไม่เพียงระบุว่าระบบสำรองไฟฟ้าเครื่องใดอยู่ในภาวะวิกฤตเท่านั้น แต่ยังแสดงถึงระดับความรุนแรงของผลกระทบที่สามารถแพร่กระจายไปสู่อุปกรณ์อื่น ๆ ภายในระบบเครือข่ายด้วย จากนั้นได้สร้างกราฟมีทิศทาง โดยกำหนดโหนดให้แทนอุปกรณ์ระบบสำรองไฟฟ้าและสวิตช์เครือข่ายที่ติดตั้งในแต่ละชั้นของอาคาร และกำหนดเส้นเชื่อม (edges) ให้แทนเส้นทางการจ่ายพลังงานระหว่างอุปกรณ์ การทดลองได้กำหนดค่าน้ำหนักการพึ่งพา (dependency weight, w_{ij}) เพื่อสะท้อนระดับการเชื่อมต่อ โดยพิจารณาทั้งกรณีพึ่งพาเต็มรูป ($w_{ij} = 1.0$) และกรณีที่มีการจ่ายไฟแบบสำรองหรือหลายเส้นทาง ($w_{ij} < 1.0$) การแพร่กระจายของความเสี่ยงถูกคำนวณตามสมการ (1)

$$R_j = \max(R_i \times w_{ij}) \quad (1)$$

โดยที่

R_i คือ ค่าความเสี่ยงของโหนดต้นทาง (เช่นเครื่องสำรองไฟฟ้าหรือสวิตช์หลัก)

R_j คือ ค่าความเสี่ยงของโหนดปลายทาง (สวิตช์ลูก/อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ)

w_{ij} คือ ค่าน้ำหนักการพึ่งพาจากโหนด i ไปยังโหนด j

3. ประเมินประสิทธิภาพของระบบอนุमानพีซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปที่ได้พัฒนาและทดสอบบนระบบสำรองไฟฟ้า รุ่น Syndrome HE-RT-1-3K เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 4 โดยจำลองสถานการณ์ไฟฟ้าขัดข้องและระดับโหลดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ ดังนี้

1) วิธีเกณฑ์คงที่ วิธีนี้กำหนดเกณฑ์ว่า หากแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่า 38 โวลต์ จะถือว่าอยู่ในสถานะวิกฤตทันที โดยไม่คำนึงถึงตัวแปรอื่น

2) วิธีระบบอนุमानเชิงตรรกะคลุมเครือแบบแมมดानीที่แปลงสัญญาณการทำงานเครื่องสำรองไฟฟ้าเป็นพีซีด้วยฟังก์ชันสามเหลี่ยมและใช้กฎ $3 \times 3 \times 3$ เพื่อคำนวณผลลัพธ์ก่อนแปลงให้อยู่ในรูปแบบ “ปกติ” หรือ “วิกฤต”

3) วิธีแยกกลุ่มข้อมูลเพื่อหาค่าผิดปกติโดยใช้อัลกอริทึม isolation forest ทำการเรียนรู้จากข้อมูลสถานะปกติ จากนั้นนำค่าคะแนนการตัดสินใจมาแปลงให้เป็นผลลัพธ์แบบสองสถานะ สำหรับการฝึกและทดสอบ แบ่งข้อมูลตามลำดับเวลาเป็นชุดฝึก 60 เปอร์เซ็นต์ ชุดทดสอบ 20 เปอร์เซ็นต์ และชุดตรวจสอบความถูกต้อง 20 เปอร์เซ็นต์

4) วิธีระบบอนุमानพีซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปที่แปลงสัญญาณการทำงานเครื่องสำรองไฟฟ้าให้อยู่ในรูปค่าความเป็นสมาชิกด้วยฟังก์ชันที่ซ้อนทับกันในลักษณะเชิงเส้น จากนั้นใช้กฎแบบแมมดानीเพื่อคำนวณระดับความเสี่ยงเชิงต่อเนื่อง ก่อนนำไปเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์เพื่อจำแนกผลลัพธ์เป็นสถานะปกติหรือสถานะวิกฤต

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเฟรมเวิร์กทำโดยใช้ตัวชี้วัดอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด ค่าความแม่นยำ ความสามารถในการตรวจจับ และค่าหนึ่งเวลาเพื่อสะท้อนทั้งความถูกต้องและความทันเวลาในการตรวจจับและตอบสนองต่อความเสี่ยง โดยการประเมินดำเนินการบนชุดข้อมูลจำลองจากระบบสำรองไฟฟ้าและระดับโหลดต่าง ๆ ซึ่งช่วยให้เห็นความแม่นยำ ความสามารถในการระบุเหตุการณ์ผิดปกติ และความเร็วในการแจ้งเตือนของแต่ละวิธี

5. สรุปผลและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

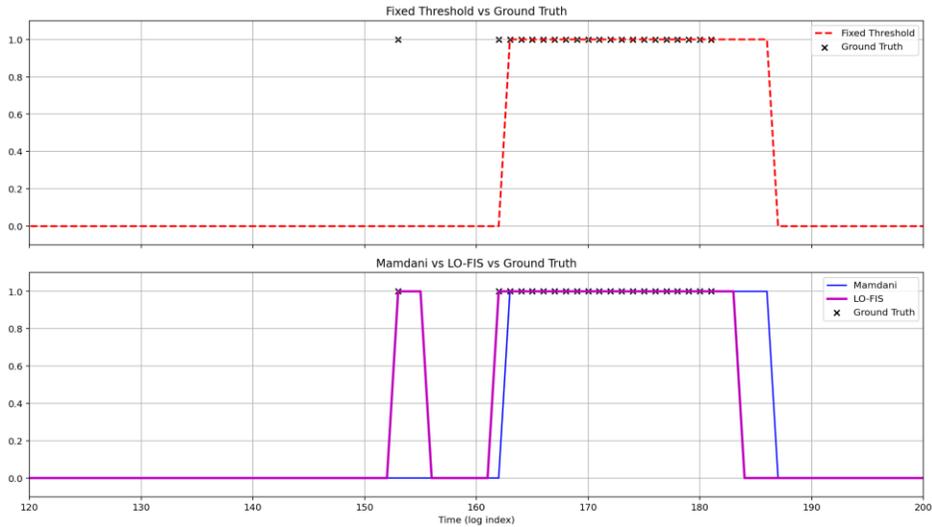
การทดลองในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจริงจากระบบเครื่องสำรองไฟฟ้าและบันทึกเหตุการณ์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกรอบการทำงานแบบพีชซีในการตรวจจับความผิดปกติและวิเคราะห์ผลกระทบของระบบเครื่องสำรองไฟฟ้า เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้เฉพาะระบบอนุमानพีชซี การประเมินมุ่งเน้นไปที่ความสามารถในการตรวจจับเหตุการณ์วิกฤต ระยะเวลาเตือนล่วงหน้า และการลดจำนวนการแจ้งเตือนที่ผิดพลาด

1. การเตือนล่วงหน้า

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบอนุमानพีชซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปสามารถแจ้งเตือนล่วงหน้าก่อนเกิดเหตุการณ์วิกฤตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังที่แสดงในภาพที่ 5 ในขณะที่เกณฑ์คงที่ไม่สามารถตรวจจับเหตุการณ์แรกได้และตอบสนองเฉพาะเมื่อเกิดไฟฟ้าดับเท่านั้น ส่วนระบบอนุमानพีชซีแบบแมมดानी สามารถตรวจจับเหตุการณ์ได้ แต่มีความล่าช้าและระดับความเสี่ยงลดลงทันทีหลังเหตุการณ์สิ้นสุด ในทางตรงข้ามระบบอนุमानพีชซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปสามารถตรวจจับเหตุการณ์ได้ครบถ้วนและรักษาระดับความเสี่ยงชั่วคราว ทำให้ลดการแจ้งเตือนผิดพลาดกรณีไฟฟ้ากลับมาไม่เสถียรค่า lead time gain ซึ่งวัดจากระยะเวลาระหว่างที่ระบบตรวจจับความผิดปกติกับเวลาที่เกิดไฟดับจริงพบว่า LO-FIS มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30 วินาทีก่อนเกิดไฟดับจริง และสามารถยืดระยะเวลาได้หลายนาที ในกรณีความผิดปกติสะสม เช่น การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของกรอบการทำงานในการบริหารจัดการระบบสำรองไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ความแม่นยำในการตรวจจับและการลดการแจ้งเตือนผิดพลาด

การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่า วิธีเกณฑ์คงที่มีการพลาดตรวจจับ (false negatives, FN) และการแจ้งเตือนผิดพลาด (false positives, FP) จำนวนมาก ส่งผลให้มีค่าความแม่นยำ (Precision) เพียง 35.50% และค่าการตรวจจับเหตุการณ์ (Recall) 78.10% ในขณะที่ระบบอนุमानเชิงตรรกะคลุมเครือแบบแมมดानीสามารถเพิ่มความแม่นยำ 61.07% แต่ยังคงพบการตรวจจับผิดพลาด จำนวน 25 ครั้ง สำหรับวิธีแยกกลุ่มข้อมูลเพื่อหาค่าผิดปกติ มีค่าการตรวจจับเหตุการณ์สูงถึง 80.00% และแม่นยำ 67.20% แต่ยังคงเกิดการแจ้งเตือนผิดพลาดหลายครั้ง ในทางกลับกันระบบอนุमानพีชซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลป สามารถลดการแจ้งเตือนผิดพลาดเหลือ 1 และการพลาดตรวจจับเพียง 3 ครั้ง โดยค่าความแม่นยำ อยู่ที่ 99.32% และค่าการตรวจจับเหตุการณ์ 97.14% สอดคล้องกับค่าคะแนน F1 ที่สูงถึง 98.07%



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงที่ได้จากวิธีเกณฑ์คงที่กับวิธีระบบอนุมานฟัซซีแบบแมมดานี และค่าจริงของสถานะระบบ

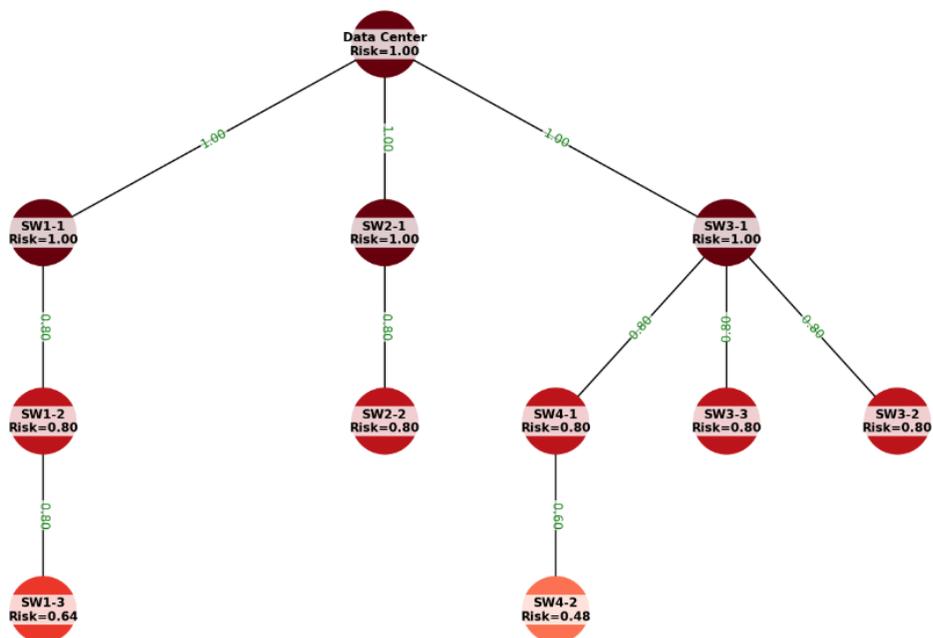
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแจ้งเตือนเหตุการณ์ UPS

| วิธี | ค่าความแม่นยำ (%) | ค่าการตรวจจับเหตุการณ์ (%) | คะแนน F1 (%) | การแจ้งเตือนผิดพลาด (FP) | การพลาดตรวจจับ (FN) |
|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|---------------------|
| Fixed Threshold | 35.50 | 78.10 | 48.81 | 149 | 23 |
| Fuzzy Mamdani | 61.07 | 76.19 | 67.80 | 51 | 25 |
| Isolation Forest | 67.20 | 80.00 | 73.04 | 41 | 21 |
| LO-FIS (Proposed) | 99.32 | 97.14 | 98.07 | 1 | 3 |

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความเสี่ยงของระบบเครือข่ายด้วยทฤษฎีกราฟ (ภาพที่ 6) ใช้โครงสร้างจากแผนผังระบบไฟและการเชื่อมต่อจริงในอาคาร 4 ชั้น โดยยืนยันเส้นทางจ่ายพลังงานและจุดเชื่อมต่อด้วยบันทึกสถานะจากเครื่องสำรองไฟฟ้าที่ติดตั้งในแต่ละชั้นของอาคาร ซึ่งบันทึกเวลาที่เกิดเหตุผิดปกติและพารามิเตอร์หลัก เพื่อระบุแหล่งจ่ายต้นทางและลำดับการพึ่งพาของโหนดในระบบ

การประเมินความเสี่ยงของแต่ละโหนดพิจารณาจาก 4 ปัจจัย ได้แก่ (1) เส้นทางพลังงาน หากมีแหล่งจ่ายไฟเส้นทางเดียวจะมีความเสี่ยงสูงกว่าโหนดที่มีเส้นทางสำรอง (2) สถานะของโหนด จุดผ่านหลักจะส่งผลกระทบต่อสูงเมื่อเกิดความล้มเหลวทำให้ความเสี่ยงเพิ่มขึ้น (3) ความสำคัญเชิงบริการ โหนดที่รองรับบริการคอร์จะมีความเสี่ยงสูงกว่าโหนดรอง และ (4) พฤติกรรมโหลดและเหตุผิดปกติ โหนดที่มีเหตุขัดข้องบ่อยหรือมีโหลดผันผวนจะถูกจัดให้มีความเสี่ยงเพิ่มขึ้น

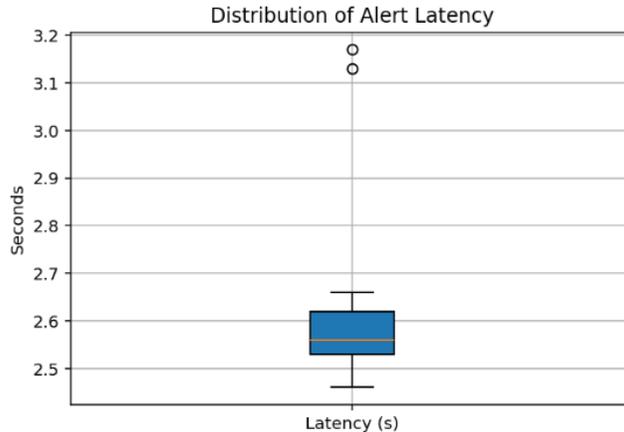
ระบบจะกำหนดคะแนนเสี่ยงเริ่มต้นของโหนดจากระบบอนุमानพีซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปในแต่ละช่วงเวลาแล้วกระจายผลไปยังโหนดที่พึ่งพาตามเส้นทางจ่ายพลังงาน โดยใช้ค่าน้ำหนักการพึ่งพาของเส้นเชื่อม และเมื่อโหนดหนึ่งรับผลจากหลายทางจะเลือกค่าที่มากที่สุดเป็นคะแนนสุดท้าย ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดพบว่าโหนดศูนย์ข้อมูลและสวิตช์แกนหลักของแต่ละชั้น ได้แก่ SW1-1, SW2-1 และ SW3-1 มีคะแนนความเสี่ยง 1.00 จัดเป็นโหนดวิกฤตซึ่งกระทบต่อเครือข่ายโดยรวม ขณะที่โหนดกิ่งวิกฤต เช่น SW1-2, SW2-2, SW3-2, SW3-3 และ SW4-1 มีคะแนน 0.80 สะท้อนความเสี่ยงรองลงมา ส่วนโหนดปลายห่วงหรือมีทางจ่ายสำรองมากกว่า เช่น SW1-3 และ SW4-2 มีคะแนน 0.64 และ 0.48 ตามลำดับ ข้อมูลนี้ชี้จุดที่ควรจัดลำดับความสำคัญในการเฝ้าระวัง การเสริมระบบสำรอง และการวางมาตรการป้องกัน โดยเน้นโหนดวิกฤตและกิ่งวิกฤตก่อนเพื่อคงความต่อเนื่องของบริการเครือข่าย



ภาพที่ 6 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ความเสี่ยงของระบบเครือข่ายด้วยทฤษฎีกราฟ

3. ความหน่วงเวลาในการแจ้งเตือน (alert latency)

นอกจากความแม่นยำในการตรวจจับแล้ว งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินเวลาหน่วง (latency) ของระบบแจ้งเตือน โดยวัดระยะเวลาตั้งแต่เครื่องสำรองไฟฟ้าตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติจนถึงเวลาที่อีเมลแจ้งเตือนปรากฏในกล่องจดหมายของผู้ดูแล ผลการทดลองแสดงว่าการแจ้งเตือนส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายใน 2-3 วินาที หลังการตรวจจับ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.6 วินาที และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 0.3 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 7 การกระจายของค่าความหน่วงเวลาแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองแบบเรียลไทม์ได้อย่างสม่ำเสมอและเชื่อถือได้ ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับการใช้งานในศูนย์ข้อมูลจริงที่ต้องการการแจ้งเตือนทันทีเมื่อเกิดเหตุการณ์วิกฤต



ภาพที่ 7 การกระจายของค่าความหน่วงเวลา (alert latency)

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าเฟรมเวิร์กกราฟฟิซซีที่บูรณาการระบบอนุมานฟิซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเข้ากับกราฟฟิงพาพัฒนาขึ้นสามารถตอบโจทย์วัตถุประสงค์ของการศึกษาได้อย่างครบถ้วน โดยเฉพาะในด้านการตรวจจับความผิดปกติ และการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงโครงสร้าง ประการแรกการพัฒนาเฟรมเวิร์ก (วัตถุประสงค์ข้อที่ 1) การผสานระบบอนุมานฟิซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเข้ากับกราฟฟิงพา ช่วยให้สามารถตรวจจับความผิดปกติแบบต่อเนื่อง และให้ผลที่มีความแม่นยำและความต่อเนื่องสูงกว่าวิธีระบบอนุมานเชิงตรรกะคลุมเครือแบบแมมดานี และวิธีแยกกลุ่มข้อมูล เพื่อหาค่าผิดปกติ สอดคล้องกับแนวคิดของ Decker และคณะ [1] และแนวคิดของ Fliss และ Tagina [6] ที่ใช้วิธีฟิซซีเชิงกฎในการลดความผิดพลาดของการแจ้งเตือน การวิเคราะห์ผ่านกราฟฟิงพายังสะท้อนถึงการแพร่กระจายของผลกระทบไปยังอุปกรณ์ที่เชื่อมโยง สอดคล้องกับทฤษฎีกราฟฟิงพาในการวิเคราะห์ความล้มเหลวในระบบซับซ้อน ตามที่ระบุในงานวิจัยของ O'Halloran และคณะ [5] และ Zhang และคณะ [2] ช่วยให้ผู้ใช้ดูแลระบบประเมินความรุนแรงของเหตุการณ์ในมิติที่กว้างกว่าแทนการมองเพียงจุดเดียว ประการที่สอง การประเมินประสิทธิภาพบนระบบจริง (วัตถุประสงค์ข้อที่ 2) ยืนยันศักยภาพของเฟรมเวิร์กกราฟฟิซซีที่บูรณาการระบบอนุมานฟิซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเข้ากับกราฟฟิงพา การทดสอบแทรกข้อผิดพลาดพบว่าระบบอนุมานฟิซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเข้ามีความแม่นยำและความสามารถในการตรวจจับสูงกว่าแบบดั้งเดิม และสูงกว่าวิธีแยกกลุ่มข้อมูลเพื่อหาค่าผิดปกติ ซึ่งเป็นวิธีการเรียนรู้ของเครื่องที่นิยมใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติ โดยมีค่าคะแนน F1 สูงสุดและลดระยะเวลาดำเนินการ เฉลี่ยประมาณ 30 วินาทีก่อนการดับจริง แสดงถึงประสิทธิภาพการตอบสนองแบบเรียลไทม์ ซึ่งสอดคล้องกับงานที่กล่าวถึงความน่าเชื่อถือของระบบศูนย์ข้อมูล [3, 4] เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น การปรับค่าเกณฑ์และค่าน้ำหนักการฟิงพาต้องทำให้เหมาะสมกับโครงสร้างระบบ เพื่อรักษาสมดุลระหว่างการเตือนเกินและลดการพลาดตรวจจับลง และช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานจัดลำดับความสำคัญของเหตุเตือนได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณารวมกัน ผลการวิจัยจึงไม่เพียงแต่

สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ทั้งสองข้อเท่านั้น แต่ยังคงแสดงถึงความก้าวหน้าเชิงวิวิธวิทยา กล่าวคือ กราฟที่พึ่งพาสามารถลดข้อจำกัดของวิธีตรวจจับแบบเดิม เพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของการแจ้งเตือน และเปิดโอกาสให้สามารถนำไปปรับใช้กับระบบโครงสร้างพื้นฐานอื่นที่ต้องการการเฝ้าระวังและวิเคราะห์ผลกระทบแบบเรียลไทม์ได้ในอนาคต ซึ่งแนวคิดนี้สอดคล้องกับแนวทางใหม่ในการตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติแล ในสภาพแวดล้อมไม่แน่นอน [8, 11]

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอเฟรมเวิร์กกราฟฟิซซีที่บูรณาการระบบอนุมานฟิซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเข้ากับกราฟ สำหรับการเฝ้าระวังเครื่องสำรองไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม โดยประเมินภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนดซึ่งครอบคลุมชุดสัญญาณจากระบบจริง ในสถานการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่จำลองหลายรูปแบบ ผลการทดสอบยืนยันว่าเฟรมเวิร์กกราฟฟิซซีที่บูรณาการระบบอนุมานฟิซซีแบบลิเนียร์โอเวอร์แลปเข้ากับกราฟสามารถเพิ่มความแม่นยำ ลดการแจ้งเตือนผิดพลาด และสร้างการแจ้งเตือนล่วงหน้าก่อนเหตุไฟดับได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางนี้จึงช่วยยกระดับความน่าเชื่อถือและความทนทานของระบบไฟฟ้าสำรอง สนับสนุนความต่อเนื่องของการดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการโครงสร้างพื้นฐานพลังงานที่มั่นคง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Decker, L., Leite, D., Giommi, L., & Bonacorsi, D. (2020). Real-time anomaly detection in data centers for log-based predictive maintenance using an evolving fuzzy-rule-based approach. arXiv preprint arXiv:2004.13527.
- [2] Zhang, H., Li, Z., & Ren, Z. (2020). Data-driven construction of data center graph of things for anomaly detection. arXiv preprint arXiv:2004.12540.
- [3] Shrestha, B. R., Tamrakar, U., Hansen, T. M., Bhattarai, B. P., James, S., & Tonkoski, R. (2018). Efficiency and reliability analyses of AC and 380 V DC distribution in data centers. IEEE Access, 6, 63305–63315.
- [4] Zakharov, A. V., Gusev, O. Y., & Cho, G. C. (2018). Reliability assessment of data centers power system. Proceedings of the 2018 International Conference on Information Technologies (INFORINO), 1–4.
- [5] O'Halloran, B. M., Papakonstantinou, N., Giammarco, K., & Van Bossuyt, D. L. (2017). A graph theory approach to functional failure propagation in early complex cyber-physical systems. INCOSE International Symposium, 27(1), 164–178.
- [6] Fliss, I., & Tagina, M. (2012). A novel fault detection approach combining adaptive thresholding and fuzzy reasoning. arXiv preprint arXiv:1203.5454.
- [7] Xu, J., Zhao, M., Fortes, J. A. B., Carpenter, R., & Yousif, M. (2007). On the use of fuzzy modeling in virtualized data center management. Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC), 25–34.

- [8] Fu, Y., Zhou, C., Li, J., & Chen, L. (2025). Long-term evolutionary patterns matter: Self-supervised anomaly detection on dynamic graphs. *Knowledge-Based Systems*, 311, 113049.
- [9] Wagner, S. M., Bode, C., & Koziol, P. (2009). Supplier default dependencies: Empirical evidence from the automotive industry. *European Journal of Operational Research*, 199(1), 150–161.
- [10] Prasath, S. C., Darwin, N., Ramkumar, R. S., Nithishkumar, S., & Somasundharam, P. L. (2023). IoT-powered UPS battery monitoring: Ensuring high availability and reliability for critical systems. *E3S Web of Conferences*, 399, 04007.
- [11] Rao, Y., Chen, X., & Wang, Y. (2024). Fuzzy-coalition graphs: A framework for understanding multi-agent cooperation in uncertain environments. *Mathematics*, 12(22), 3614.

ศักยภาพของสารสีจากเชื้อราโมแนสคัสในการเพิ่มสีผิวของปลาทองออรันดา The Potential of Monascus Pigments in Enhancing Skin Coloration in Oranda Goldfish (*Carassius auratus*)

ศุภมาส ศรีวงศ์พุก^{*1}, สุรัชชัย เตชะเอ้อย² และ สุภาพพร สัตตัง¹
Supamas Sriwongpuk^{*1}, Surachai Techaoei² & Supaporn Sattang¹

¹สาขาประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²คณะแพทยบูรณาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹Division of Fisheries, Faculty of Agricultural Technology,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

²Faculty of Integrative Medicine, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Submitted 30/09/2025 ; Revised 06/10/2025 ; Accepted 15/11/2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสีจากเชื้อรา *Monascus* ต่อการเพิ่มสีผิวของปลาทองออรันดา (*Carassius auratus*) และเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเสริมในอาหาร การทดลองใช้ปลาทองออรันดาที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดสีในระดับความเข้มข้น 0, 5, 10 และ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 45 วัน โดยประเมินทั้งการเจริญเติบโตและความเข้มของสีผิวที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่า การเสริมสารสกัดสีเชื้อรา *Monascus* ไม่ส่งผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มน้ำหนัก ความยาว อัตราการรอดตาย หรือประสิทธิภาพการใช้อาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินด้านสีพบว่าค่าความสว่างและค่าสีเหลือง มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่ได้รับสารสี โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้น 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในขณะที่ค่าสีแดงเพิ่มขึ้นในระยะต้นและลดลงภายหลัง การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสารสกัดสีจากเชื้อรา *Monascus* สามารถใช้เป็นสารสีธรรมชาติเพื่อเพิ่มความสว่างและคุณภาพสีของปลาทองออรันดาได้ โดยระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดคือ 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ซึ่งให้ผลคงที่มากกว่าการใช้ในระดับความเข้มข้นสูง

คำสำคัญ: ปลาทองออรันดา เชื้อราโมแนสคัส สารสีธรรมชาติ การเพิ่มสีผิว

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: supamas_s@rmutt.ac.th

Abstract

This study aimed to investigate the effects of *Monascus*-derived pigments on skin coloration in oranda goldfish (*Carassius auratus*) and to determine the optimal dietary concentration for pigmentation enhancement. Goldfish were fed diets supplemented with *Monascus* pigment extract at 0, 5, 10, and 15 g/kg feed for 45 days, and both growth performance and the intensity of skin color changes were evaluated. Results indicated that supplementation with *Monascus* pigment did not significantly affect weight gain, length gain, survival rate, or feed utilization efficiency compared to the control group. However, pigmentation analysis revealed that lightness and yellowness values were significantly improved in pigment-supplemented groups, particularly at 5 g/kg feed, while redness increased during the initial phase but declined later. These findings suggest that *Monascus* pigment extract can be utilized as a natural colorant to enhance skin brightness and pigmentation quality in oranda goldfish. The most suitable supplementation level was 5 g/kg feed, which provided stable coloration effects compared to the higher concentrations.

Keywords: oranda goldfish, *Monascus* fungi, natural pigment, skin coloration

บทนำ

ปลาทองออรันดา (*Carassius auratus*) เป็นปลาสวยงามที่ได้รับความนิยมสูงในตลาดโลก เนื่องจากความหลากหลายของสายพันธุ์และสีที่เป็นเอกลักษณ์ สีผิวที่สดใสและสม่ำเสมอถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความนิยมและมูลค่าทางเศรษฐกิจของปลาสวยงาม อย่างไรก็ตาม สีของปลาส่วนใหญ่ไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้โดยสมบูรณ์ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารในรูปของรงควัตถุ โดยเฉพาะกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) และเมลานิน (melanin) การเสริมอาหารด้วยสารสีจากธรรมชาติจึงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงการค้า เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพสี ความน่าสนใจ และมูลค่าเพิ่มให้แก่ปลา [1]

ปัจจุบันมีการศึกษาแหล่งสารสีจากธรรมชาติหลายชนิด เช่น แอสตาแซนทิน (astaxanthin) จากสาหร่ายและครัสเตเชียน ลูทีน (lutein) จากพืชใบเขียว รวมทั้งแคโรทีนอยด์จากจุลินทรีย์ โดยหนึ่งในจุลินทรีย์ที่ได้รับความนิยมคือเชื้อราโมแนสคัส (*Monascus* sp.) ซึ่งเป็นราแอสโคไมซีท (ascomycetous fungus) ที่ผลิตรงควัตถุหลายชนิดในกลุ่มโมแนสคัสพิกเมนต์ (*Monascus* pigments) เช่น รูโบรพังทาติน (rubropunctatin) โมเนสกิน (monascin) และ อังกาฟลาวิน (ankaflavin) รงควัตถุเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางมานาน เนื่องจากมีความปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับในหลายประเทศ [2] อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางชีวภาพ เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความคงตัวที่ดีต่อสภาวะแวดล้อมของอาหาร จึงมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมอาหารสัตว์น้ำ แม้ว่ามีการรายงานการใช้รงควัตถุจากเชื้อราโมแนสคัสในอาหารสัตว์บกและในอุตสาหกรรมอาหาร แต่ข้อมูลด้านการใช้ในปลาสวยงามยังมีจำกัด โดยเฉพาะในปลาทองซึ่งมีความต้องการด้านสีสูงและมีความสำคัญเชิงการค้า การศึกษาผลของการเสริมรงควัตถุจากเชื้อราโมแนสคัสจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาทางเลือกใหม่ของการใช้สารสีธรรมชาติ เพื่อทดแทนสารสังเคราะห์ที่อาจก่อให้เกิดข้อกังวลด้านความปลอดภัยของผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสีจากเชื้อราโมแนสคัสต่อการเพิ่มสีผิวของปลาทองฮอลันดา และเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสีดังกล่าวในการเสริมอาหาร เพื่อให้ได้คุณภาพสีที่ดีโดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของปลา ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญต่อการพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาทองเชิงพาณิชย์ รวมทั้งสามารถขยายผลไปสู่การใช้สารสีธรรมชาติในปลาสวยงามชนิดอื่น ๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสารสีจากเชื้อราโมแนสคัสต่อการเพิ่มสีผิวของปลาทองฮอลันดา
2. เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสีจากเชื้อราโมแนสคัสต่อการเพิ่มสีผิวของปลาทองฮอลันดา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การยื่นขอจริยธรรมการวิจัยในสัตว์ทดลอง

งานวิจัยนี้ได้รับใบอนุญาตการวิจัยในสัตว์ทดลองตามจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์สภาวิจัยแห่งชาติ เลขที่ RMUTT.AGR.2025.R005 จากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงสัตว์และใช้สัตว์ทดลอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารเม็ดสำเร็จรูป (ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์) ไม่ผสมสารสกัดเชื้อราโมแนสคัส (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารเม็ดสำเร็จรูป (ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์) ผสมสารสกัดเชื้อราโมแนสคัส 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารเม็ดสำเร็จรูป (ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์) ผสมสารสกัดเชื้อราโมแนสคัส 10 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารเม็ดสำเร็จรูป (ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์) ผสมสารสกัดเชื้อราโมแนสคัส 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

3. การเตรียมหน่วยทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด 40×23×29 เซนติเมตร จำนวน 12 ตู้ บรรจุน้ำปริมาตร 20 ลิตร ให้อากาศตลอดเวลา โดยเสียบสายยางกับปั๊มลม จากนั้นต่อสายยางเข้ากับหัวทรายให้เรียบร้อย ใส่ลงในตู้กระจกเพื่อเพิ่มอากาศในตู้ทดลองตลอดการทดลอง

4. สัตว์ทดลอง

ใช้ปลาทองอรันดาขนาด 1 นิ้ว จำนวน 180 ตัว นำมาฆ่าเชื้อโรคโดยแช่น้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วนำมาแช่น้ำสะอาด วัดความยาวและชั่งน้ำหนักปลาทองก่อนปล่อยลงในตู้ทดลองตู้ละ 15 ตัว

5. การเตรียมสารสกัดเชื้อราโมแนสคัส

5.1 การผลิตสารสกัดเชื้อราโมแนสคัส

ชั่งข้าวหอมปทุมธานีปริมาตร 50 กรัม บรรจุในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับความชื้น และปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้เท่ากับ 7 ปิดจุกสำลีแล้วนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็น เติมหีสสารแวนดอลอยสปอร์ของเชื้อราโมแนสคัสที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เหย้าให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

5.2 การเตรียมสารสกัดเชื้อราโมแนสคัส

นำข้าวที่เพาะเลี้ยงได้จากข้อ 5.1 ไปอบในตู้ hot air oven ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบดให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบด ใส่ถุงที่ปิดสนิท และเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทดลองขั้นตอนต่อไป

6. การเตรียมอาหารทดลอง

นำสารสกัดเชื้อราโมแนสคัสที่สกัดด้วยเอทานอลที่เตรียมไว้ไปคลุกผสมให้ทั่วบนผิวของอาหารเม็ดสำเร็จรูป (ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์) โดยใช้อัตราส่วนในแต่ละชุดการทดลอง แล้วนำไปคลุกเคล้าให้เข้ากันกับน้ำมันปลาหมึกและนำไปผึ่งให้แห้งอีกครั้ง นำอาหารที่เตรียมได้บรรจุลงในถุงซิปล็อคสี่ขาบรรจุเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้เลี้ยงปลาทองต่อไป

7. การให้อาหารปลาของออรัندا

นำอาหารที่ผสมสารสกัดสีเชื้อราโมแนสคัสในอัตราส่วนในแต่ละชุดการทดลองให้อาหารปลาของออรัنداในทุกชุดการทดลอง โดยให้ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลา และให้กินวันละ 2 ครั้ง เวลา 08.00 และ 16.00 น. เป็นระยะเวลา 45 วัน

8. การเพิ่มสีผิวปลาของออรัنداที่ได้รับอาหารผสมสารสีจากเชื้อราโมแนสคัส

นำปลาของออรัنداที่เลี้ยงในแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งทำการวัดค่าความเข้มสีเริ่มต้น (วันเริ่มการทดลอง) ที่ผิวบริเวณลำตัวปลา วัดสีโดยใช้ปลาของออรัنداในชุดการทดลองเดียวกัน 5 ตัวต่อชุดการทดลอง และวัดสีผิวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความเข้มของสีผิวปลา (ใช้ปลา 5 ตัวต่อชุดการทดลอง) ซึ่งการวัดค่าความเข้มสีที่บริเวณผิวหนังของปลาโดยใช้เครื่องวัดสีรุ่น MiniScan EZ บันทึกค่าสีในระบบ CIE แสดงข้อมูลเป็นค่าความสว่างของสี (L^*) ค่าสีแดงไปถึงเขียว (a^*) และค่าสีเหลืองไปถึงน้ำเงิน (b^*) ของปลาของที่ทดลองเป็น ระยะเวลา 45 วัน วัดทั้งหมด 4 ครั้ง โดยประกอบด้วยค่าสีที่วัดเมื่อเริ่มการทดลอง ค่าสีที่วัดเมื่อทดลองครบ 15, 30 และ 45 วัน ตามลำดับ

9. การตรวจคุณภาพน้ำ

ตรวจสอบคุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง คุณภาพน้ำที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่

- (1) อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปรยี่ห้อ YSI รุ่น YSI 550A ตรวจวิเคราะห์ทุกวัน
- (2) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปรยี่ห้อ YSI รุ่น YSI 550A ตรวจวิเคราะห์ทุกวัน
- (3) ความเป็นกรดเป็นด่าง ด้วยเครื่อง pH meter ตรวจวิเคราะห์ทุกวัน
- (4) ความเป็นด่าง (alkalinity) ด้วยวิธีการไตเตรท [3] ตรวจวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง
- (5) ปริมาณแอมโมเนียรวม (total ammonia nitrogen) ด้วยวิธีการไตเตรท [3] ตรวจวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง
- (6) ปริมาณไนไตรท์ (nitrite) ด้วยวิธีการไตเตรท [3] ตรวจวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

10. การจัดการระหว่างการเลี้ยง

มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในตู้ปลาทุกวัน หลังการให้อาหารครั้งที่ 2 จะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์

11. การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

11.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

(1) วัดความยาวและชั่งน้ำหนักปลาในแต่ละตู้ทุก ๆ 15 วัน เก็บข้อมูลตลอดการทดลอง 45 วัน นำข้อมูลที่ได้มาบันทึกผล

(2) เปรียบเทียบความเข้มสีผิวของปลาของออรัندا โดยนำตัวอย่างปลาจากแต่ละหน่วยทดลองที่ผ่านการทำให้สลับด้วยน้ำมันกานพลู มาทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี โดยวัดค่าเมื่อเริ่มต้น และเมื่อทดลองครบ 15, 30 และ 45 วัน ซึ่งวัดจากปลาของออรัنداจำนวน 5 ตัวต่อชุดการทดลอง วัดค่าความเข้มสีบริเวณผิวลำตัว บันทึกค่าสีในระบบ CIE แสดงข้อมูลเป็นค่า L^*

(ค่าความสว่างของสี) ค่า a^* (ค่าสีแดงไปถึงสีเขียว) และค่า b^* (ค่าสีเหลืองไปถึงสีน้ำเงิน) และวิเคราะห์ความเข้มสีที่เปลี่ยนแปลง

11.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลการเจริญเติบโตและการตรวจวัดสีมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้ [4]

- (1) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (total biomass increase) (กรัม)
= น้ำหนักสุดท้าย - น้ำหนักเริ่มต้น
- (2) ความยาวที่เพิ่มขึ้น (total length increase) (เซนติเมตร)
= ความยาวสุดท้าย - ความยาวเริ่มต้น
- (3) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain, ADG) (กรัมต่อวัน)
= $\frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$
- (4) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)
= $\frac{(\ln \text{น้ำหนักปลาทองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น้ำหนักปลาทองเริ่มต้น}) \times 100}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)}}$
- (5) อัตราการรอดตาย (survival rate, SR) (เปอร์เซ็นต์)
= $\frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มการเลี้ยง}} \times 100$
- (6) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)
= $\frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$

จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองโดยวิธีของ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 27

ผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย

1. การเจริญเติบโตของปลาทองอรันดา

การศึกษาการใช้อาหารผสมสารสกัดสีเชื้อราโมแนสค์ต่อความเข้มข้นของปลาทองอรันดา จำนวน 4 ชุดการทดลอง ให้อาหารผสมสารสกัดสีเชื้อราโมแนสค์ ในอัตราความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 5, 10 และ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ให้ปลาทองกินเป็นระยะเวลา 45 วัน ได้ผลการเจริญเติบโต ดังนี้

ผลการทดลองที่ได้ทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของปลาทองอรันดาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสค์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันพบว่า ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, WG) ความยาวที่เพิ่มขึ้น (length gain, LG) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (average daily gain, ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) อัตราการรอดตาย (survival rate, SR) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างชุดการทดลองทุกระดับความเข้มข้น (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสค์ดังกล่าว ไม่ได้แสดงผลชัดเจนต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาทองในสภาวะการทดลองนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารเสริมที่ระดับ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มอื่น โดยในวันที่ 45 ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 3.92 ± 0.19 กรัม เมื่อเทียบกับชุดควบคุมซึ่งมีค่า 3.64 ± 0.32 กรัม แสดงให้เห็นว่าการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสค์ที่ระดับความเข้มข้นสูงอาจช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโต แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลาทองอรันดา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคล้ายกัน โดยชุดทดลองที่ได้รับการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสค์ที่ระดับความเข้มข้น 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีความยาวที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.34 ± 0.10 เซนติเมตร ในวันที่ 45 สูงกว่าชุดควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.25 ± 0.39 เซนติเมตร แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสค์มีศักยภาพต่อการสนับสนุนโครงสร้างการเจริญเติบโตในระยะยาวหากปรับปรุงปัจจัยด้านระยะเวลา

ค่าอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของชุดการทดลองที่ได้รับการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสค์ที่ระดับความเข้มข้น 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีแนวโน้มสูงกว่าชุดการทดลองอื่น โดยเฉพาะค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่า 1.68 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองสูงกว่าชุดควบคุมซึ่งเท่ากับ 1.49 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Dawood และคณะ [5] และ Hoseinifar และคณะ [6] ที่กล่าวว่าสารเสริมโปรไบโอติกมีผลกระตุ้นการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร ทำให้การใช้ประโยชน์อาหารดีขึ้นแม้ไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติในระยะสั้น

อัตราการรอดตายของปลาทองอรันดาทุกชุดการทดลองมีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลองบ่งชี้ว่าสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสค์ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพปลาทองอรันดา ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยบางฉบับที่รายงานว่า การใช้สารซินไบโอติกส์ (synbiotics) ในระดับสูงอาจส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาและความเครียดของปลา [7] อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้สามารถยืนยันความปลอดภัยในระดับความเข้มข้นที่ใช้ได้

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อพบว่า ชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ได้รับการเสริมสารในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โดยที่ระดับความเข้มข้น 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีแนวโน้มดีกว่าเล็กน้อย (2.40 ± 0.13) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เทียบกับชุดควบคุม (2.42 ± 0.33) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rahayu และคณะ [8] ที่ระบุว่าการใช้สารเสริมโปรไบโอติกส์ (probiotics) สามารถปรับปรุงการใช้ประโยชน์อาหาร แต่ผลที่ได้รับอาจขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ระยะเวลาในการทดลอง และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่นเดียวกับการเสริมสารสกัดเชื้อราโมแนสคัสในอาหารปลาสวยงาม จะช่วยเพิ่มสีผิวของปลาทองดังผลการทดลองที่กล่าวข้างต้น

ตารางที่ 1 อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองออลันดาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสารสกัดเชื้อราโมแนสคัสเป็นเวลา 45 วัน

| ประสิทธิภาพ การเจริญเติบโต | ชุดการทดลอง | ค่าเริ่มต้น | ระยะเวลา (วัน) | | |
|---|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | 15 | 30 | 45 |
| น้ำหนัก ที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | 1 (ชุดควบคุม) | 4.15 ± 0.30^a | 0.89 ± 0.19^a | 1.87 ± 0.41^a | 3.64 ± 0.32^a |
| | 2 | 4.46 ± 0.14^a | 1.25 ± 0.31^a | 2.22 ± 0.48^a | 3.37 ± 0.70^a |
| | 3 | 4.54 ± 0.10^a | 1.18 ± 0.36^a | 2.07 ± 0.22^a | 3.37 ± 0.95^a |
| | 4 | 4.39 ± 0.07^a | 1.19 ± 0.39^a | 2.58 ± 0.47^a | 3.92 ± 0.19^a |
| ความยาว ที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร) | 1 (ชุดควบคุม) | 4.71 ± 0.15^a | 0.46 ± 0.23^a | 0.94 ± 0.14^a | 1.25 ± 0.39^a |
| | 2 | 4.71 ± 0.19^a | 0.65 ± 0.06^a | 0.99 ± 0.24^a | 1.09 ± 0.16^a |
| | 3 | 4.57 ± 0.03^a | 0.43 ± 0.16^a | 0.85 ± 0.14^a | 1.07 ± 0.18^a |
| | 4 | 4.52 ± 0.03^a | 0.46 ± 0.23^a | 1.05 ± 0.18^a | 1.34 ± 0.10^a |
| อัตราการ เจริญเติบโต เฉลี่ยต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน) | 1 (ชุดควบคุม) | - | 0.06 ± 0.01^a | 0.06 ± 0.01^a | 0.08 ± 0.01^a |
| | 2 | - | 0.08 ± 0.02^a | 0.07 ± 0.02^a | 0.08 ± 0.01^a |
| | 3 | - | 0.08 ± 0.02^a | 0.07 ± 0.01^a | 0.07 ± 0.01^a |
| | 4 | - | 0.08 ± 0.02^a | 0.09 ± 0.02^a | 0.09 ± 0.01^a |
| อัตราการ เจริญเติบโต จำเพาะ (เปอร์เซ็นต์) | 1 (ชุดควบคุม) | - | 1.40 ± 0.29^a | 1.33 ± 0.23^a | 1.49 ± 0.06^a |
| | 2 | - | 1.98 ± 0.47^a | 1.60 ± 0.30^a | 1.46 ± 0.22^a |
| | 3 | - | 1.90 ± 0.53^a | 1.54 ± 0.15^a | 1.48 ± 0.35^a |
| | 4 | - | 1.95 ± 0.61^a | 1.85 ± 0.25^a | 1.68 ± 0.07^a |
| อัตราการ รอดตาย (เปอร์เซ็นต์) | 1 (ชุดควบคุม) | - | 100 ± 0.00^a | 100 ± 0.00^a | 100 ± 0.00^a |
| | 2 | - | 100 ± 0.00^a | 100 ± 0.00^a | 100 ± 0.00^a |
| | 3 | - | 100 ± 0.00^a | 100 ± 0.00^a | 100 ± 0.00^a |
| | 4 | - | 100 ± 0.00^a | 100 ± 0.00^a | 100 ± 0.00^a |
| อัตราการเปลี่ยน อาหารเป็นเนื้อ | 1 (ชุดควบคุม) | - | 2.88 ± 0.45^a | 2.86 ± 0.41^a | 2.42 ± 0.33^a |
| | 2 | - | 2.24 ± 0.65^a | 2.58 ± 0.45^a | 2.83 ± 0.59^a |
| | 3 | - | 2.47 ± 0.71^a | 2.65 ± 0.22^a | 2.84 ± 0.78^a |
| | 4 | - | 2.44 ± 1.01^a | 2.15 ± 0.44^a | 2.40 ± 0.13^a |

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง แสดงค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

2. การเปลี่ยนแปลงสีผิวที่บริเวณลำตัวของปลาทองออรันดา

การประเมินค่าพารามิเตอร์ของสีผิวที่บริเวณลำตัวของปลาทองออรันดาที่ได้รับการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (0, 5, 10 และ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม) เป็นระยะเวลา 45 วัน ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง-สีเขียว (a^*) และค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b^*) แสดงได้ดังนี้ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสีที่บริเวณลำตัวของปลาทองออรันดาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสารสกัดสีเชื้อราโมแนสคัสเป็นเวลา 45 วัน

| ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต | ชุดการทดลอง | ระยะเวลา (วัน) | | | |
|---------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | 0 | 15 | 30 | 45 |
| L^* | 1 (ชุดควบคุม) | 55.54±1.04 ^a | 51.68±15.1 ^a | 51.33±6.43 ^a | 49.77±4.08 ^a |
| | 2 | 52.74±2.57 ^a | 66.61±5.05 ^a | 58.04±5.75 ^a | 62.25±4.00 ^b |
| | 3 | 51.52±0.17 ^a | 69.13±4.73 ^a | 47.92±5.26 ^a | 59.86±3.28 ^{ab} |
| | 4 | 50.64±3.10 ^a | 66.84±6.55 ^b | 53.83±4.03 ^a | 60.21±4.20 ^b |
| a^* | 1 (ชุดควบคุม) | 16.26±0.57 ^a | 22.48±1.42 ^b | 14.86±2.90 ^a | 11.87±1.07 ^a |
| | 2 | 15.47±0.31 ^a | 17.89±1.68 ^a | 17.12±1.46 ^a | 12.27±1.58 ^a |
| | 3 | 15.52±0.39 ^a | 20.78±1.16 ^{ab} | 13.83±1.87 ^a | 10.01±2.62 ^a |
| | 4 | 16.26±0.57 ^a | 22.48±1.42 ^b | 13.85±3.16 ^a | 7.81±1.51 ^a |
| b^* | 1 (ชุดควบคุม) | 33.87±1.13 ^a | 57.93±3.98 ^a | 45.17±3.30 ^a | 37.79±3.54 ^a |
| | 2 | 34.21±1.03 ^a | 59.45±3.66 ^a | 47.54±0.74 ^a | 43.98±1.56 ^b |
| | 3 | 34.35±1.23 ^a | 64.45±2.37 ^a | 42.61±1.36 ^a | 42.87±0.72 ^{ab} |
| | 4 | 34.20±1.04 ^a | 65.23±7.39 ^a | 43.94±3.19 ^a | 39.75±1.93 ^{ab} |

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่า ค่า L^* ของชุดควบคุมมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจากวันแรกถึงวันสุดท้าย แสดงถึงการลดลงของความสว่างของสีผิวตามธรรมชาติของปลาทองออรันดา ในขณะที่ชุดการทดลองที่ได้รับสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสมีแนวโน้มการคงค่าความสว่างหรือมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่า L^* สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (45 วัน) แสดงว่าสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสช่วยเพิ่มความคงตัวด้านความสว่างของสีผิวบนตัวปลาทองออรันดาได้ สังเกตได้จากผลการทดลองค่าความสว่างยังคงเท่าเดิม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gouveia และ Rema [9] ที่รายงานว่า การเสริมสารแคโรทีนอยด์จากแหล่งธรรมชาติช่วยเพิ่มค่าความสว่างและความสดของสีในปลาสวยงามและปลาเศรษฐกิจหลายชนิด

สำหรับค่า a^* พบว่าในช่วงต้นของการทดลอง (15 วัน) กลุ่มที่ได้รับสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสที่ระดับความเข้มข้น 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าสีแดงสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (45 วัน) ค่า a^* ของทุกชุดการทดลองจะลดลง โดยเฉพาะชุดการทดลองที่ได้รับสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสที่ระดับความเข้มข้นสูง จะมีค่าลดลง

ชัดเจนกว่าชุดควบคุม สะท้อนให้เห็นว่าการสะสมของรงควัตถุสีแดงอาจขึ้นอยู่กับระยะเวลาและการเผาผลาญหรือการขับออกจากร่างกายในระยะยาว สอดคล้องกับการศึกษาของ Choubert และ Luquet [10] ซึ่งพบว่าการสะสมสารแคโรทีนอยด์ในกล้ามเนื้อของปลาแซลมอนจะสูงในช่วงแรกของการเสริมแอสต้าแซนทิน (astaxanthin) และแคนต้าแซนทิน (canthaxanthin) ในอาหาร แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลายาวนานขึ้นเนื่องจากการสมดุลระหว่างการสะสมและการย่อยสลาย

ส่วนค่า b* พบว่า ชุดทดลองทุกระดับความเข้มข้นมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม โดยเฉพาะชุดการทดลองที่มีการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมชัดเจนในวันที่ 15 และ 30 ของการทดลอง อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (45 วัน) ค่า b* ของทุกชุดการทดลองมีค่าลดลง แต่ชุดการทดลองที่ได้รับสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสที่ระดับความเข้มข้น 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ยังคงมีค่า b* สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แสดงว่าสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสในระดับปานกลางอาจเหมาะสมที่สุดในการคงอยู่ของสีเหลืองของสีผิวปลาทองออรันดาในระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lim และคณะ [1] ที่เสนอว่าการเสริมสารในกลุ่มแอสต้าแซนทินในระดับเหมาะสมสามารถคงคุณภาพสีได้ดีกว่าการเสริมในระดับสูงเกินไป

3. คุณภาพน้ำ

ผลด้านคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลา 45 วัน ที่ทำการทดลองเลี้ยงปลาทองด้วยอาหารผสมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 5, 10 และ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม) พบว่าพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาทองออรันดา โดยอุณหภูมิมีค่า 26.90 ± 0.71 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาทองออรันดาและไม่ส่งผลกระทบต่อผลการเผาผลาญหรือการเปลี่ยนสีผิว [11] ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่า 6.98 ± 1.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าต่ำสุดที่ปลาสวยงามต้องการ (มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร) แสดงว่าสภาพแวดล้อมของการเลี้ยงอยู่ในสภาวะที่ดี ไม่ก่อให้เกิดความเครียดต่อปลา [12] ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่า 7.82 ± 0.94 ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาน้ำจืดทั่วไปและปลาทองออรันดาโดยเฉพาะ [13] ขณะที่ค่าความเป็นด่างมีความคงที่อยู่ที่ 140 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สะท้อนถึงความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างได้อย่างมั่นคง [14] ส่วนปริมาณของเสียอนินทรีย์ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียมีค่า 0.13 ± 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนไตรท์มีค่า 0.15 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่เป็นอันตรายต่อปลาอย่างชัดเจน [15] แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบเลี้ยงที่สามารถควบคุมของเสียให้คงที่ได้ดี

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสในอาหารที่ระดับความเข้มข้น 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีแนวโน้มสนับสนุนการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาทองออรันดา แม้ผลจะไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) จากชุดควบคุม อย่างไรก็ตามการทดสอบในระยะเวลานานขึ้นหรือในสภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกันอาจช่วยแสดงผลของสารเสริมดังกล่าวได้ชัดเจนมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้สารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการเลี้ยงปลาทองออรันดาในอนาคต โดยต้องมีการศึกษาต่อยอดทั้งในด้านกลไกทางสรีรวิทยาและเศรษฐศาสตร์การผลิต

นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสในอาหารปลาทองยังส่งผลต่อคุณภาพสีของปลา โดยช่วยเพิ่มค่า L^* และค่า b^* อย่างมีนัยสำคัญ โดยระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้คือ ที่ระดับความเข้มข้น 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ซึ่งสามารถรักษาความสดใสและค่า b^* ของสีผิวได้ดีที่สุดในระยะยาว ขณะที่การเสริมในระดับสูง (15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม) อาจให้ผลเพิ่มสีชัดเจนในช่วงแรก แต่ไม่ยั่งยืนเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นการเลือกใช้สารสีในระดับที่เหมาะสมจึงเป็นกลยุทธ์สำคัญในการปรับปรุงคุณภาพสีของปลาสวยงามและปลาเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงการตลาด

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่าการเสริมสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสในอาหารปลาทอง ออรันดา ไม่ส่งผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต ทั้งในด้านน้ำหนัก ความยาว อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้อาหารเมื่อเทียบกับชุดควบคุม แต่มีผลชัดเจนต่อการเพิ่มสีผิวปลาทองออรันดา โดยค่าความสว่าง (L^*) และสีเหลือง (b^*) ของชุดการทดลอง โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้น 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม แสดงค่าสีที่สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญในช่วงปลายของการเลี้ยง ขณะที่ค่าสีแดง (a^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงภายหลัง แสดงว่าสารสกัดสีจากเชื้อราโมแนสคัสสามารถใช้เป็นแหล่งสารสีธรรมชาติเพื่อเพิ่มคุณภาพสีของปลาทองออรันดาได้โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของปลา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lim, K. C., Yusoff, F. M., Shariff, M., & Kamarudin, M. S. (2010). Astaxanthin as feed supplement in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 2(4), 192–206.
- [2] Feng, Y. L., Shao, Y. C., & Chen, F. S. (2012). Monascus pigments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(6), 1421–1440.
- [3] กลุ่มงานเคมี ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา. (2550). คู่มือการปฏิบัติงาน การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน.
- [4] วัฒนา วัฒนกุล, อุไรวรรณ วัฒนกุล, และวรรณิณี จันทรแก้ว. (2562). การประยุกต์ใช้สาหร่ายสีแดงน้ำจืดเป็นสารเร่งสีปลาทอง. รายงานการวิจัย. นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
- [5] Dawood, M. A. O., Koshio, S., & Esteban, M. Á. (2019). Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 859–879.

- [6] Hoseinifar, S. H., Sun, Y. Z., Caipang, C. M. A., & Zhou, Z. (2020). Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1830.
- [7] Yao, W., Li, X., Zhang, C., Wang, J., Cai, Y., & Leng, X. (2021). Effects of dietary synbiotics supplementation methods on growth, intestinal health, non-specific immunity and disease resistance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 112, 46–55.
- [8] Rahayu, S., Amoah, K., Huang, Y., Cai, J., Wang, B., Shija, V. M., Jin, X, Anokyewaa, M.A., & Jiang, M. (2024). Probiotics application in aquaculture: its potential effects, current status in China and future prospects. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1455905.
- [9] Gouveia, L., & Rema, P. (2005). Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquaculture Nutrition*, 11(1), 19–23.
- [10] Choubert, G., & Luquet, P. (1982). Utilization of carotenoid pigments by rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) fed astaxanthin and canthaxanthin. *Aquaculture*, 29, 285–294.
- [11] Wedemeyer, G. A. (1996). *Physiology of fish in intensive culture systems*. New York: Springer Science & Business Media.
- [12] Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). *Pond aquaculture water quality management*. New York: Springer Science & Business Media.
- [13] Francis-Floyd, R. (2009). *pH in freshwater aquaculture*. University of Florida IFAS Extension, FA-13.
- [14] Boyd, C. E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama: Auburn University, Alabama Agricultural Experiment Station.
- [15] Russo, R. C., & Thurston, R. V. (1991). Toxicity of ammonia, nitrite, and nitrate to fishes. In *Aquaculture and water quality*. US: World Aquaculture Society.

คุณสมบัติเชิงสุขภาพของชาใบโก้งกางอบแห้งสำหรับการผลิตชาขงดื่ม
ในพื้นที่บ้านหน้าทับ อำเภотаศลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

The Health Properties of Dried Mangrove Leaves for Tea Preparation in
the Area of Ban Na Thap, Tha Sala District, Nakhon Si Thammarat

ฉัตรชัย สังข์ผุด¹, ชุตินุช สุจริต², ฉัตรจิรา สังข์ผุด³ และ ผกากรอง โยธารักษ์³
Chatchai Sungpud¹, Chutinut Sujarit², Chatjira Sungpud³ & Phakakrong Yotharak³

¹สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

²สาขาวิชาอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

³โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์สุขภาพ โรงเรียนเบญจมราชูทิศ

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

²Food Industry, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

³Health Science Intensive Programme, Benjamarachutit School

Submitted 05/10/2025 ; Revised 13/11/2025 ; Accepted 24/11/2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดโก้งกางอบแห้งต่อฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติเชิงสุขภาพ ได้แก่ ปริมาณสารฟีนอลิก ฤทธิ์ดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลโคซิเดสของสารสกัดใบโก้งกางอบแห้งที่อุณหภูมิน้ำในการสกัดต่างกัน คือ อุณหภูมิห้อง น้ำร้อน (70–80 °C) และน้ำเดือด พบว่าการสกัดด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือดมีสารฟีนอลิกสูงสุด (0.16 mg GAE/g ของสารสกัด) และการดักจับอนุมูลอิสระสูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) มีค่า $IC_{50} = 52.88 \pm 1.25$ และ 52.83 ± 1.06 $\mu\text{g/ml}$ ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสของสารสกัดชาใบโก้งกางด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด มีค่า $IC_{50} = 341.05 \pm 2.22$ และ 340.40 ± 0.47 $\mu\text{g/ml}$ ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าสารมาตรฐานอะคาร์โบส ($IC_{50} = 5.94 \pm 0.01$ $\mu\text{g/ml}$) ถึง 57 เท่า สำหรับฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลโคซิเดสของชาใบโก้งกางที่สกัดด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด ไม่แตกต่างกับสารมาตรฐานอะคาร์โบส สรุปได้ว่าการสกัดชาใบโก้งกางด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือดเหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตชาใบโก้งกางเชิงสุขภาพ

คำสำคัญ: ชาใบโก้งกาง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แอลฟาอะไมเลส แอลฟาไกลโคซิเดส

*ผู้ประสานงานหลัก(Corresponding Author)

E-mail: Chatchai_san@nstru.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the effects of extraction temperature on the bioactive, health-promoting properties of dried mangrove leaf extracts. The study examined total phenolic content, DPPH radical scavenging activity, and inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase enzymes from extracts prepared using different water extraction temperatures: room temperature, hot water (70–80°C), and boiling water. The results showed that hot water and boiling water extractions yielded the highest total phenolic content (0.16 mg GAE/g of extract) and exhibited significantly higher antioxidant activity than room-temperature extraction ($P < 0.05$), with IC_{50} values of 52.88 ± 1.25 and 52.83 ± 1.06 $\mu\text{g/ml}$, respectively. The α -amylase inhibitory activity of the hot and boiling water extracts ($IC_{50} = 341.05 \pm 2.22$ and 340.40 ± 0.47 $\mu\text{g/ml}$) was lower than that of the standard acarbose ($IC_{50} = 5.94 \pm 0.01$ $\mu\text{g/ml}$) by approximately 57 times. However, the α -glucosidase inhibitory activity of the hot and boiling water extracts showed no significant difference compared to acarbose. In conclusion, extraction of *R. mucronata* Poir. leaf tea using hot or boiling water is the most suitable method for producing functional, health-promoting tea products.

Keywords: mangrove leaf tea, antioxidant, α -amylase, α -glucosidase

บทนำ

ชาและเครื่องดื่มสมุนไพรได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากในระดับโลก นอกจากจะเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพแล้ว ยังเป็นช่องทางหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากพืชท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรธรรมชาติ [1] ในประเทศไทย ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) พ.ศ. 2564 [2] ได้กำหนดเงื่อนไขสำหรับผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรไว้ว่า ต้องผลิตจากส่วนต่าง ๆ ของพืชทั้งราก ใบ ดอก เหง้าหรือเปลือก โดยไม่มีส่วนของต้นชาจริง (*Camellia sinensis*) เจือปน และต้องผ่านกระบวนการทำแห้ง ลดขนาด แล้วนำไปขงต้มในน้ำร้อนตามเวลาที่กำหนด ในพื้นที่ป่าชายเลนภาคใต้ของประเทศไทย พบพืชที่มีศักยภาพในการเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Poir.) พบทั้งในภาคใต้และประเทศเพื่อนบ้าน [3] จากการศึกษาในต่างประเทศพบว่า ใบของโกงกางใบใหญ่มีสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แทนนินและสารทุติยภูมิ (secondary metabolites) หลายชนิด และมีรายงานการศึกษาพบว่า มีสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต้านเบาหวาน ต้านการอักเสบและต้านเชื้อจุลินทรีย์ [4, 5] จากรายงานวิจัยพบว่า วิธีการอบแห้งหรือการจัดเก็บวัสดุพืช เช่น ใบโกงกาง ส่งผลกระทบต่อปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ [6] ซึ่งการพัฒนาชาใบโกงกางอบแห้งเพื่อขงต้มเชิงสุขภาพ จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมทั้งในแง่การใช้ทรัพยากรท้องถิ่นและเชิงเศรษฐกิจสำหรับชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งชุมชนบ้านหน้าทับ อำเภอนาทวี จังหวัดนครศรีธรรมราช ดังนั้นการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดสารจากใบโกงกางอบแห้งสำหรับการผลิตชาขงต้ม และการศึกษาคุณสมบัติเชิงสุขภาพของชาใบโกงกาง เช่น ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) และแอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase) เพื่อให้สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขงต้มได้อย่างมีคุณภาพเหมาะสมและเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรท้องถิ่น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดใบโกงกางอบแห้งสำหรับการผลิตชาขงต้ม และคุณสมบัติเชิงสุขภาพของชาใบโกงกาง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชาใบโกงกาง

งานวิจัยนี้เลือกใช้โกงกางใบใหญ่ จากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอนุรักษ์ป่าชายเลนบ้านแหลมโสมสเตย์ บ้านหน้าทับ ตำบลท่าศาลา อำเภอนาทวี จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยสุ่มเลือกใบโกงกางระยะใบกลางและใบแก่ นำมาล้างทำความสะอาด หั่นเพื่อลดขนาด และเครื่องอบลมร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ($^{\circ}$ C) เวลา 6 ชั่วโมง จนมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องสมุนไพรขงต้ม มพช.996/2556 นำใบโกงกางที่ผ่านการอบแห้งแล้วบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (cutting miller)

2. ศึกษาคุณสมบัติของน้ำที่ใช้ในการสกัดชาโงกงต่อคุณสมบัติเชิงสุขภาพ

การเตรียมชาโงกง นำใบโงกงที่บดแล้วบรรจุของในลอนขนาด 60 x 80 มิลลิเมตร ปริมาณ 2 กรัมต่อช่อง จากนั้นนำมาชงในอัตราส่วน 1 ช่องต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ น้ำอุณหภูมิห้อง (30 °C) น้ำร้อน (70–80 °C) และน้ำเดือด (100 °C) ใช้ระยะเวลาในการแช่ 5 นาที นำสารสกัดเข้าเครื่องเหี่ยงอัตโนมัติความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสใส่ในขวดสีชา (ความเข้มข้น 20,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำมาศึกษาคุณสมบัติเชิงสุขภาพดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชาโงกง ด้วยวิธี Folin-ciocalteu colortimetric [7] โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) ความเข้มข้น 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกและสารสกัดมาตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 1.5 มิลลิลิตร และสารละลาย Folin 10% 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ 1 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% ลงไป 1 มิลลิลิตร บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร (nm) นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ซึ่งปริมาณฟีนอลทั้งหมดจะวิเคราะห์ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลกับกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดชาโงกง (mg GAE/g ของสารสกัด)

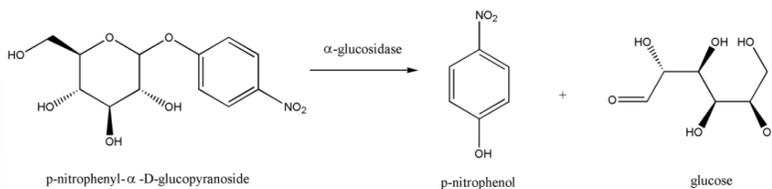
2.2 ศึกษาฤทธิ์การดักจับอนุมูลอิสระในสารสกัดจากชาโงกง ด้วยวิธี 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging ตามวิธีการของ Mubo และคณะ [8] โดยเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.10 มิลลิโมลในสารละลายเมทานอล 1 ลิตร จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 1,000 µg/ml (stock solution) และเจือจางจาก stock solution ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 10, 20, 30 และ 40 µg/ml และเตรียมสารสกัดชาโงกงจาก stock solution (ความเข้มข้น 20,000 µg/ml) ทำการเจือจางด้วยเมทานอล ปรับความเข้มข้นเท่ากับ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 µg/ml นำมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ หลังจากเตรียมสารละลาย DPPH สารละลายมาตรฐานวิตามินอีและสารละลายชาโงกงเรียบร้อยแล้ว บรรจุสารลงในไมโครเพลท (96-wells plate) เขย่าให้เข้ากันเก็บในที่มืด 30 นาที วัดด้วยเครื่องอ่านไมโครเพลท ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณเป็นร้อยละการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH (% radical scavenging) จากนั้นนำค่าไปสร้างกราฟหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดักจับอนุมูลอิสระและความเข้มข้น เพื่อนำไปคำนวณค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่ดักจับอนุมูลอิสระได้ 50% (IC₅₀) ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{radical scavenging} = (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) \times 100 / A_{\text{control}}$$

3. ทดสอบฤทธิ์การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดส

3.1 ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase) ด้วยวิธี *p*-nitrophenol colorimetric โดยใช้อะคาร์โบส (acarbose) เป็นสารมาตรฐาน เพื่อติดตามปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารตั้งต้นให้เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 1) คือ *p*-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (PNP-G) เป็นสารละลายใส ไม่มีสี ทำหน้าที่เป็นซับสเตรทในปฏิกิริยา โดยเอนไซม์ α -glucosidase ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับ PNP-G ได้น้ำตาลกลูโคส และ *p*-nitrophenyl ซึ่งเป็นสารละลายสีเหลืองและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร โดยใช้เทคนิค UV-visible

spectroscopy เมื่อการทดลองให้ค่าการดูดกลืนแสงมาก แสดงว่าเอนไซม์ α -glucosidase สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการทดสอบเอนไซม์ α -glucosidase จึงเป็นวิธีการเบื้องต้นในการทดสอบพืชสมุนไพรได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว การทดสอบพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือด ทดสอบการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase (in vitro) ตามวิธี Sungpud และคณะ [7] โดยนำสารสกัดใบโกกง 50 μ l ที่มีความเข้มข้นต่างกัน (100-1,000 μ g/ml) และบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M (pH 6.9) 100 μ l ที่มีเอนไซม์ *Saccharomyces cerevisiae* α -glucosidase (sigma-aldrich, USA) ความเข้มข้น 0.1 Unit/ml ลงในไมโครเพลท บ่มที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$ C เวลา 10 นาที อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ 405 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านไมโครเพลท เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานอะคาร์โบส [9] ซึ่งเป็นยารักษาโรคเบาหวาน แล้วคำนวณหาค่าร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส (% α -glucosidase inhibition)



ภาพที่ 1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของ PNP-G

3.2 ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสของชาใบโกกง

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) โดยใช้ starch azure เป็นสารตั้งต้น [10] ซึ่งเป็นโมเลกุลแบ่งขนาดใหญ่ที่เกิด crosslinking กับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ด้วยพันธะโคเวเลนต์ ทำให้คุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถพองตัวในน้ำได้ และเมื่อ starch azure เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแอลฟาอะไมเลส ได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลขนาดเล็ก ๆ ที่ทำพันธะกับสีที่ละลายน้ำได้ โดยสามารถทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ของส่วนเหนือตะกอน (supernatant) ซึ่งมีสีน้ำเงินเข้ม ถ้าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มีค่ามากแสดงว่า แอลฟาอะไมเลสทำงานได้ดี

การวัดกิจกรรมของแอลฟาอะไมเลสโดยชั่งแป้งมันสำปะหลัง (potato starch) 100 mg ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ปริมาตร 5 ml จากนั้นต้มให้ละลาย รอให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง เตรียมสารสกัดใบโกกงความเข้มข้น 0-5 mg/ml และสารละลายแป้ง 50 μ l บ่ม 5 นาที อุณหภูมิ 37 $^{\circ}$ C เติม 5 μ g/ml ของแอลฟาอะไมเลส ปริมาตร 20 μ l นำไปบ่มที่ 37 $^{\circ}$ C นาน 15 นาที จากนั้นทำการหยุดปฏิกิริยาด้วยการเติมสารละลาย 1 M ของกรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 50 μ l และเติมสารละลายไอโอดีน 50 μ l นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร คำนวณหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ 50% (IC₅₀) ของกิจกรรมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase) โดยใช้ อะคาร์โบสเป็นตัวควบคุมบวก ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{กิจกรรมเอนไซม์ (\% Inhibition)} = [(abs_{\text{blank}} - abs_{\text{sample}}) / abs_{\text{blank}}] \times 100$$

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS เวอร์ชัน 20

ผลการวิจัย

1. ผลของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดชาโงกงต่อคุณสมบัติเชิงสุขภาพ

การสกัดใบโงกงอบแห้งสำหรับการผลิตชาขงคิม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีการสกัดตามรูปแบบภูมิปัญญาหรือการชงชาทั่วไป โดยนำตัวอย่างใบโงกงอบแห้งสำหรับการผลิตชาขงคิมเพื่อสกัดสารสำคัญ โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ต่างกัน คือ อุณหภูมิห้อง น้ำร้อนและน้ำเดือด จากนั้นทดสอบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ได้ผลดังนี้

1.1 ผลการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

การศึกษาค้นคว้าทดสอบผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการสกัดสารสำคัญจากใบโงกงอบแห้งสำหรับการผลิตชาขงคิม โดยเปรียบเทียบน้ำอุณหภูมิห้อง น้ำร้อน และน้ำเดือด หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดแต่ละอุณหภูมิ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าการสกัดด้วยน้ำร้อนให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (0.16 mg GAE/g ของสารสกัด) และมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการสกัดน้ำเดือด (0.16 mg GAE/g ของสารสกัด) ขณะที่การสกัดที่อุณหภูมิลดลงให้ปริมาณสารฟีนอลิกต่ำที่สุด (0.11 mg GAE/g ของสารสกัด) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดชาโงกงที่สภาวะการสกัดต่างกัน

| อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดสาร | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g ของสารสกัด) |
|----------------------------|---|
| น้ำอุณหภูมิห้อง (30 °C) | 0.11 ± 0.00 ^b |
| น้ำร้อน (70–80 °C) | 0.16 ± 0.00 ^a |
| น้ำเดือด (100 °C) | 0.16 ± 0.00 ^a |

เครื่องหมาย ± แสดงค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ และ a, b แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยวิธี DMRT

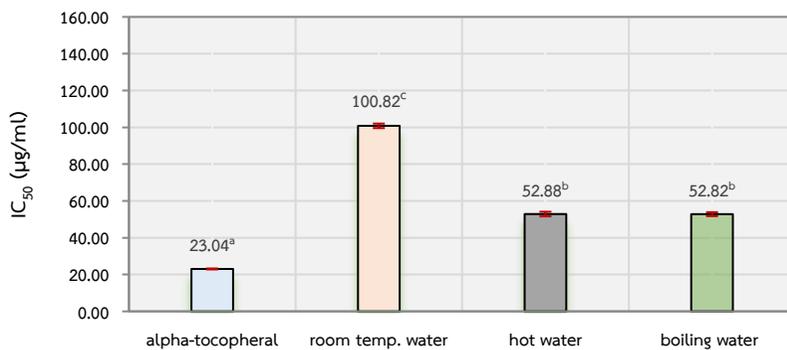
1.2 ผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชาโงกงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัด และการสกัดด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด (ตารางที่ 2) มีการดักจับอนุมูลอิสระสูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) มีค่า $IC_{50} = 100.82 \pm 0.23$, 52.88 ± 1.25 และ 52.83 ± 1.06 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานวิตามินอี พบว่าวิตามินอีมีค่า $IC_{50} = 23.04 \pm 0.26$ $\mu\text{g/ml}$ สูงกว่าสารสกัดจากใบชาโงกงประมาณ 2.3 เท่า

ตารางที่ 2 ร้อยละของการดักจับอนุมลิสระของสารสกัดชาใบโกงกวางที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

| ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$) | ร้อยละของการยับยั้งอนุมลิสระของสารสกัดชาใบโกงกวาง | | |
|-------------------------------------|---|--------------------|--------------------|
| | น้ำอุณหภูมิห้อง | น้ำร้อน | น้ำเดือด |
| 40 | 19.39 ± 1.15^b | 40.05 ± 0.05^a | 39.58 ± 0.01^a |
| 60 | 29.77 ± 0.63^b | 58.17 ± 0.04^a | 58.00 ± 0.03^a |
| 80 | 38.87 ± 0.98^b | 72.78 ± 0.01^a | 73.45 ± 0.05^a |
| 100 | 50.27 ± 0.41 | - | - |

เครื่องหมาย \pm แสดงค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ และ a, b แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 2 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่ดักจับอนุมลิสระได้ 50% (IC₅₀) ในวิตามินอีและสารสกัดชาใบโกงกวางที่สภาวะการสกัดต่างกัน

(เครื่องหมาย a, b และ c แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยวิธี DMRT)

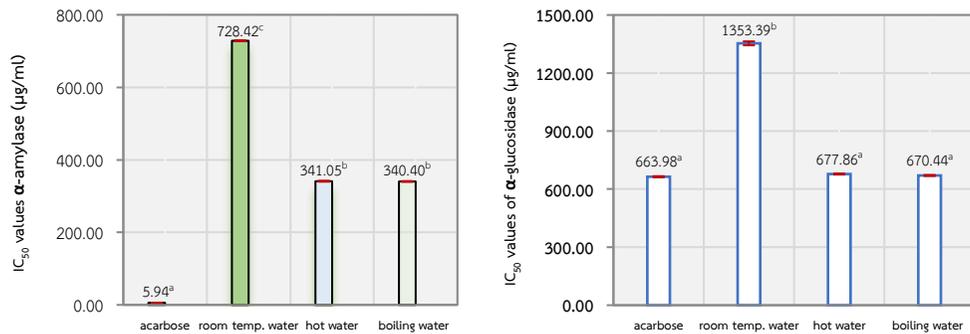
2. ผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase)

การประเมินฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสของสารสกัดชาใบโกงกวางอบแห้งที่ความเข้มข้นของสารสกัดระดับต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การสกัดชาใบโกงกวางด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดและสูงสุดที่ 500 $\mu\text{g/ml}$ (ตารางที่ 3) สำหรับสารสกัดด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด (73.04–73.18%) ส่วนการสกัดที่อุณหภูมิห้องต้องใช้ความเข้มข้นสูงถึง 1,000 $\mu\text{g/ml}$ จึงได้เปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงสุด (68.15%) และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสของสารสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง น้ำร้อน และน้ำเดือด IC₅₀ เท่ากับ 728.42 ± 0.28 , 341.05 ± 2.22 และ 340.40 ± 0.47 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 3) โดยสารสกัดชาใบโกงกวางที่สกัดด้วยน้ำเดือดและน้ำร้อน มีฤทธิ์ดีกว่าสารสกัดชาใบโกงกวางที่สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมคือ สารมาตรฐานอะคาร์โบส (IC₅₀ = 5.94 ± 0.01 $\mu\text{g/ml}$) พบว่าฤทธิ์การยับยั้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสของสารมาตรฐานอะคาร์โบมากกว่าสารสกัดจากชาใบโกงกวางที่สกัดด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด 57 เท่า

ตารางที่ 3 ร้อยละการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ของสารสกัดชาใบโงก่างที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

| ความเข้มข้นของสารสกัด ($\mu\text{g/ml}$) | ร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสของสารสกัดชาใบโงก่าง | | |
|---|--|-------------------------------|-------------------------------|
| | น้ำอุณหภูมิห้อง | น้ำร้อน | น้ำเดือด |
| 100 | - | 15.33 \pm 0.02 | 14.96 \pm 0.17 |
| 200 | - | 31.76 \pm 0.01 | 31.23 \pm 0.22 |
| 300 | 16.56 \pm 0.25 ^b | 44.56 \pm 0.02 ^a | 45.11 \pm 0.73 ^a |
| 400 | 29.97 \pm 0.66 ^b | 56.86 \pm 0.03 ^a | 56.97 \pm 0.24 ^a |
| 500 | 34.20 \pm 0.20 ^b | 73.04 \pm 0.01 ^a | 73.18 \pm 0.27 ^a |
| 750 | 52.47 \pm 0.31 | - | - |
| 1000 | 68.15 \pm 0.22 | - | - |

เครื่องหมาย \pm แสดงค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ และ a, b แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 3 ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) และแอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase) ของสารมาตรฐานอะคาร์โบสและสารสกัดชาใบโงก่างที่สภาวะการสกัดต่างกัน

3. ผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase)

ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ของสารสกัดชาใบโงก่างอบแห้งที่ความเข้มข้นของสารสกัดต่าง ๆ ได้แก่ 0, 200, 400, 600, 800, 1,000, 1,500 และ 2,000 $\mu\text{g/ml}$ (ตารางที่ 4) สารสกัดชาใบโงก่างด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสสูงกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดสูงสุดอยู่ที่ 1,000 $\mu\text{g/ml}$ สำหรับสารสกัดด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด (73.50–74.15%) ส่วนการสกัดที่อุณหภูมิห้องต้องใช้ความเข้มข้นสูงถึง 2,000 $\mu\text{g/ml}$ จึงได้เปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงสุด (68.15%) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมคือ สารมาตรฐานอะคาร์โบส ($\text{IC}_{50} = 663.98 \pm 0.01 \mu\text{g/ml}$) พบว่าฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารมาตรฐานอะคาร์โบสไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสารสกัดจากชาใบโงก่างที่สกัดด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด มีค่า $\text{IC}_{50} = 677.86 \pm 2.67$ และ $670.44 \pm 2.49 \mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 4 ร้อยละการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase) ของสารมาตรฐานอะคาร์โบส และสารสกัดชาใบโกงกางที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

| ความเข้มข้นของสารสกัด ($\mu\text{g/ml}$) | ร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดชาใบโกงกาง | | | สารมาตรฐานอะคาร์โบส |
|--|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | น้ำอุณหภูมิห้อง | น้ำร้อน | น้ำเดือด | |
| 200 | - | 14.98 \pm 0.18 | 16.22 \pm 0.28 | 15.96 \pm 0.17 |
| 400 | - | 31.07 \pm 0.13 | 31.07 \pm 0.25 | 29.50 \pm 0.96 |
| 600 | 16.56 \pm 0.25 ^d | 42.67 \pm 0.50 ^c | 44.97 \pm 0.35 ^b | 49.80 \pm 0.09 ^a |
| 800 | 33.27 \pm 0.93 ^b | 59.54 \pm 0.43 ^a | 56.97 \pm 0.24 ^a | 58.47 \pm 0.10 ^a |
| 1,000 | 34.20 \pm 0.20 ^b | 73.50 \pm 0.45 ^a | 74.15 \pm 0.58 ^a | 73.73 \pm 0.19 ^a |
| 1,500 | 52.47 \pm 0.31 | - | - | - |
| 2,000 | 68.15 \pm 0.22 | - | - | - |

เครื่องหมาย \pm แสดงค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ และ a, b, c และ d แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยวิธี DMRT

อภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การสกัดใบโกงกางอบแห้งด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด ให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 0.16 mg GAE/g ของสารสกัด ส่วนน้ำที่อุณหภูมิห้องมีค่า 0.11 mg GEA/g ของสารสกัด แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด การเพิ่มอุณหภูมิช่วยให้เซลล์พืชแตกตัวและเพิ่มการแพร่ของสารโพลีฟีนอลเข้าสู่ น้ำสกัด ส่งผลให้สารออกฤทธิ์ปริมาณสูงขึ้น สอดคล้องกับงานของ Hinokidani และคณะ [1] ที่รายงานว่าใบโกงกางหลายชนิดในวงศ์ Rhizophoraceae มีสารโพลีฟีนอลสูงสามารถสกัดได้ดีด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80–100 °C และความสามารถต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับชาคุณภาพสูงทางการค้า และงานวิจัยของ Mekaroonreung และ Kangsadalampai [11] พบว่าการสกัดสมุนไพรด้วยน้ำร้อนช่วยเพิ่มการละลายของสารกลุ่มแทนนินและฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากโครงสร้างสารเหล่านี้มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่สามารถเกิดพันธะกับอนุมูลอิสระได้ดี การสกัดด้วยน้ำร้อนให้ค่า IC_{50} ต่ำกว่า (52.83–52.88 $\mu\text{g/ml}$) เมื่อเทียบกับน้ำที่อุณหภูมิห้อง (100.82 $\mu\text{g/ml}$) ดังนั้น อุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเดือดเหมาะสมในการสกัดชาจากใบโกงกาง เพื่อให้ได้สารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ชาเพื่อสุขภาพได้

2. ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

สารสกัดใบโกงกางด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสดีกว่าน้ำที่อุณหภูมิห้อง มีค่า $IC_{50} = 341.05 \pm 2.22$ และ $340.40 \pm 0.47 \mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ขณะที่ น้ำอุณหภูมิห้อง มีค่า $IC_{50} = 728.42 \pm 0.28 \mu\text{g/ml}$ ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ กลไกสารฟีนอลิกในการยับยั้งแอลฟาอะไมเลสอาจเกิดจากการจับกับหมู่คาร์บอนิลหรือกรดอะมิโนที่บริเวณเร่ง (active site) ของเอนไซม์ ส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถย่อยแป้งเป็นน้ำตาลได้อย่างสมบูรณ์ [12] การสารสกัดด้วยน้ำร้อนให้ผลดีกว่าอาจมาจากอุณหภูมิสูงช่วยละลาย

สารแทนนินและฟลาโวนอยด์ในปริมาณมากขึ้น ซึ่งสารเหล่านี้มีรายงานว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ [13] เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานอะคาร์โบส ($IC_{50} = 5.94 \mu\text{g/ml}$) พบว่าสารสกัดจากใบโกงกางยังมีฤทธิ์น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม การยับยั้งเอนไซม์ในระดับที่พอเหมาะนี้ถือว่าเป็นประโยชน์ เนื่องจากไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงอย่างรุนแรง เหมาะสำหรับใช้ในเครื่องดื่มเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลสำหรับผู้ที่ต้องการป้องกันโรคเบาหวานชนิดที่ 2

3. ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส

ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดใบโกงกางด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด มีค่า $IC_{50} = 677.86 \pm 2.67$ และ $670.44 \pm 2.49 \mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอะคาร์โบส ($663.98 \pm 0.01 \mu\text{g/ml}$) ส่วนการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องมีฤทธิ์ต่ำกว่าอย่างชัดเจน สอดคล้องกับรายงานของ Hinokidani และคณะ [1] ที่ระบุว่าสารโพลีฟีนอลในใบโกงกางมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งเอนไซม์ในระบบย่อยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณแทนนินและฟลาโวนอยด์ในพืชตระกูล Rhizophoraceae ดังนั้นการสกัดขาใบโกงกางด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยน้ำตาล ดังนั้นขาใบโกงกางจึงเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลและอาจมีประโยชน์ต่อการควบคุมระดับกลูโคสในเลือด

สรุปผลการวิจัย

อุณหภูมิน้ำมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ในขาใบโกงกางอบแห้ง โดยการสกัดด้วยน้ำร้อนและน้ำเดือดให้ปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด การสกัดในช่วงอุณหภูมิ $70-100^{\circ}\text{C}$ ยังให้ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดีกว่าการสกัดที่อุณหภูมิห้อง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของขาใบโกงกางในการช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและชะลอการย่อยคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้สารสกัดยังคงคุณสมบัติทางชีวภาพได้ดีกว่าการชงด้วยน้ำร้อนทั่วไป จึงเหมาะสำหรับพัฒนาเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่ใช้วัตถุดิบจากทรัพยากรท้องถิ่น อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางการเพิ่มมูลค่าผลผลิตป่ายาและ การพัฒนาอาหารฟังก์ชันที่ยั่งยืนในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนทุนวิจัยจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ และโครงการยุทธศาสตร์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น และวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอนุรักษ์ป่ายาและบ้านแหลมโฮมสเตย์ที่เอื้อเพื่อใบโกงกาง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hinokidani, K., Aoki, R., Inoue, T., Irie, M., & Nakanishi, Y. (2022). Usability of mangrove plant leaves as tea materials: A comparison study on phenolic content and antioxidant capacities with commercial teas. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 40, 102307.

- [2] กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2564). “ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) พ.ศ.2564 เรื่อง ผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพร”. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://food.fda.moph.go.th/food-law/announ-moph-426> (25 กันยายน 2568).
- [3] Piro, A., Dula, J. R., & Jamiri, D. (2023). Physiology and proteomics analyses reveal the response mechanisms of *Rhizophora mucronata* seedlings to submergence. *Plant Biology*, 25(5), 775–786.
- [4] Rahmawati, S., Wahyuni, D., & Yusuf, M. (2024). Evaluation of phytochemical, antioxidant, and anticancer activities of eight mangrove leaves. *E3S Web of Conferences*, 419, 06005.
- [5] Vittaya, L., Somkid, K., & Petchdee, S. (2022). Comparative analyses of saponin, phenolic, and flavonoid contents of *Rhizophora mucronata* and *R. apiculata*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 12(9), 124–130.
- [6] Arifin, M., Nurdin, A. S., & Aris, W. N. (2023). Drying method comparison of black mangrove leaves (*Rhizophora mucronata*) for an antioxidant activity assay. *Food Research*, 7(3), 90–96.
- [7] Sungpud, C., Panpipat, W., Sae-Yoon, A., & Chaijan, M. (2020). Polyphenol extraction from mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn) pericarp by bio-based solvents. *International Food Research Journal*, 27(1), 111–120.
- [8] Mubo, M. S., Sonibare, A. O., Oluwafunmilola, T. A., & Okorie, P. N. (2016). Antioxidant and antimicrobial activities of solvent fractions of *Vernonia cinerea* (L.) Less leaf extract. *African Health Sciences*, 16(2), 446–454.
- [9] Promyos, N., Temviriyankul, P., & Suttisansanee, U. (2017). Evaluation of α -glucosidase inhibitory assay using different sub-classes of flavonoids. *Current Applied Science and Technology*, 17(2), 172–178.
- [10] Lehoczki, E., Kandra, L., & Gyémánt, G. (2018). The use of starch azure for measurement of alpha-amylase activity. *Carbohydrate Polymers*, 183, 263–266.
- [11] Mekaroonreung, K., & Kangsadalampai, K. (2006). Antioxidant activity, phenolic compound contents and antimutagenic activity of some water extract of herbs. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 30 (1), 28–35.
- [12] McCue, P., & Shetty, K. (2004). Inhibitory effects of rosmarinic acid extracts on porcine pancreatic amylase in vitro. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 13(1), 101–106.
- [13] Tadera, K., Minami, Y., Takamatsu, K., & Matsuoka, T. (2006). Inhibition of α -glucosidase and α -amylase by flavonoids. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 52(2), 149–153.

ความหลากหลายและการแพร่กระจายของแหนในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน

Diversity and Distribution of Duckweed in Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus

จิราพร กรรมกร, สิริญา ศิริมหาวรรณ และ บงกช วิชาชูเชิด*

Jiraporn Kammakorn, Sirinya Sirimahawan & Bongkot Wichachucherd*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน

Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus

Submitted 07/10/2025 ; Revised 13/11/2025 ; Accepted 30/11/2025

บทคัดย่อ

พืชน้ำกลุ่มแหนพบได้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีน้ำใสนิ่ง พบมากในที่อากาศร้อนและมีแสงแดดจัด เจริญเป็นกลุ่มลอยเป็นแพอยู่บนผิวน้ำและอาจลอยปะปนอยู่กับพืชชนิดอื่น แหนมีการเจริญเติบโตได้ง่ายและแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว การเจริญเติบโตและการพัฒนาของแหนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ สารอาหาร pH และอุณหภูมิ แหนมีประโยชน์ทางระบบนิเวศไม่ว่าจะเป็นการบำบัดน้ำเสีย อาหารสัตว์ และเชื้อเพลิงชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มีพื้นที่เส้นทางน้ำล้อมรอบ และมีแหล่งน้ำจำนวนมากในบริเวณรั้วมหาวิทยาลัย จากการสำรวจก่อนหน้าพบการแพร่กระจายของกลุ่มแหน จึงมีจุดประสงค์ในการลงพื้นที่ศึกษาเพื่อบันทึกชนิดและการแพร่กระจายของแหนในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยในการศึกษาค้นครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาการแพร่กระจายของแหนสามสกุล ได้แก่ *Spirodela*, *Lemna* และ *Wolffia* เพื่อใช้ในการเป็นฐานข้อมูลการแพร่กระจายของกลุ่มแหน การเก็บตัวอย่างแหนดำเนินการในพื้นที่ศึกษาจำนวน 5 จุด เก็บตัวอย่าง ในช่วงเวลาที่มีการเจริญมากที่สุดของกลุ่มแหน บันทึกลักษณะทางสัณฐานตัวอย่างแหนที่เก็บได้ ระบุชนิดและบริเวณที่พบ พร้อมทั้งบันทึกภาพและสรุปผลการแพร่กระจายของแหนแต่ละชนิด ผลการศึกษาพบว่าแหนสกุล *Lemna* และ *Wolffia* พบได้ทุกจุดเก็บตัวอย่าง ส่วนสกุล *Spirodela* พบได้บางจุดเท่านั้น ทั้งนี้ความแตกต่างในการพบแหนแต่ละสกุลอาจสัมพันธ์กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ความหลากหลาย และขนาดของแหล่งน้ำ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาค้นครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเกี่ยวกับการนำแหนไปใช้ประโยชน์ และใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพได้ต่อไป

คำสำคัญ: แหน พืชน้ำ ความหลากหลายทางชีวภาพ

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: bongkot.w@ku.th

Abstract

Aquatic duckweed plants are commonly found in natural freshwater habitats with clear and still water, particularly in warm climates with high sunlight exposure. They grow in clusters, floating on the water surface, and may coexist with other aquatic plants. Duckweeds are characterized by rapid growth and wide dispersal, and their development is influenced by several environmental factors, including nutrient availability, pH, and temperature. Ecologically, duckweeds provide multiple benefits, such as wastewater treatment, animal feed, and potential sources of biofuel. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus is surrounded by canals and also contains water bodies within the university area. A previous observation found many duckweeds spreading on the water. Therefore, this study aims to record duckweed species and their distribution in Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus. The study focused on the distribution of three genera of duckweeds, namely *Spirodela*, *Lemna*, and *Wolffia*, to establish a baseline database on their distribution. Field sampling was conducted at five sites during the peak growth period of duckweeds. For each sample, morphological characteristics, species identification, sampling location, and photographic records were documented, followed by an analysis of distribution patterns. The results indicated that *Lemna* and *Wolffia* were present at all sampling sites, whereas *Spirodela* was detected only at certain locations. This variation may be attributed to environmental conditions, habitat diversity, and waterbody size, which influence the occurrence of particular genera. These findings can support further applications of duckweeds in ecological and economic contexts, as well as their potential use as bioindicators.

Keywords: duckweed, aquatic plant, biodiversity

บทนำ

แหน (duckweed) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวพืชดอกที่มีขนาดเล็กที่สุด เป็นพืชน้ำสามารถเจริญเติบโตและเร็วในเขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย ซึ่งจะพบได้ตามแหล่งน้ำผิวดิน เช่น ห้วยหนอง คลอง บึง [1] แหนจัดอยู่ในวงศ์ Lemnaceae ซึ่งเป็นวงศ์ที่พืชมีต้นเรียกว่า ทัลลัส (thallus) ขนาดเล็ก มีสีเขียว ลักษณะเดี่ยวหรืออยู่ติดกันเป็นกลุ่มตั้งแต่ 1 ถึงหลายทัลลัส ซึ่งส่วนนี้อาจจะทำหน้าที่เป็นได้ทั้งใบและลำต้น ใบมีลักษณะเป็นรูปรี เป็นเกล็ดเล็กประมาณ 0.7 เซนติเมตร สีเขียวเป็นมัน เชื่อมติดกันเป็นกระจุก 2-3 ใบ รากมีลักษณะเป็นฝอยเล็กอยู่ใต้ใบ ดอกจะออกเป็นช่อเกิดอยู่ในช่องตรงขอบทัลลัส มีเยื่อบางล้อมรอบช่อดอกไว้ มีดอกตัวผู้ 1-2 อัน แต่ละอันมีอับเรณู 1-2 ช่อง ดอกตัวเมียมีเพียงรังไข่ภายใน 1 ช่อง ผลเป็นแบบถุง (utricle) มีเมล็ดเดี่ยว เมื่อแก่แล้วไม่แตก มีลักษณะคล้ายถุงหรือกระเปาะขนาดเล็ก โดยเมล็ดเป็นแบบ pericarp คือ ผนังเปลือกของผลประกอบด้วย ผนังผลชั้นนอก ผนังชั้นกลาง และผนังชั้นใน นอกจากนี้ร่องค้ำประกอบของเนื้อเยื่อไม่มีความสลับซับซ้อน แต่มีองค์ประกอบต่าง ๆ ของพืชดอกอย่างสมบูรณ์ [2] ซึ่งในประเทศไทยมักจะพบแหน 3 สกุล ได้แก่ สกุลแหนเปิดใหญ่ (*Spirodella*) สกุลแหนเปิด (*Lemna*) และสกุลไข่น้ำ (*Wolffia*) [3, 4] โดยมีรายละเอียดลักษณะทางสัณฐานตามอนุกรมพืชในวงศ์ Lemnaceae [5] ดังนี้

สกุลแหนเปิดใหญ่ เป็นแหนที่ใบมีลักษณะแบนเป็นรูปไข่ มีก้านใบติดตรงกลางของฐานใบ ด้านบนของใบมีสีเขียว ส่วนผิวใต้ใบมีสีม่วงแดง โดยใบมีขนาดประมาณ 10 มิลลิเมตร รากฝอยของแหนเปิดใหญ่จะอยู่เป็นกระจุกจำนวน 7-16 รากหรือมากกว่า โดยแหนเปิดใหญ่จะอยู่แบบเดี่ยวหรือเกาะกลุ่มกันจำนวน 2-5 ทัลลัส สามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศด้วยการแตกหน่อ (budding) ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว

สกุลแหนเปิด เป็นแหนชนิดที่ทัลลัสอยู่เป็นทัลลัสเดี่ยวหรืออยู่ติดกันเป็นกลุ่มที่มีหลายทัลลัส ซึ่งส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นทั้งใบและต้น โดยใบมีลักษณะเป็นรูปรีขนาดประมาณ 7 มิลลิเมตร มีสีเขียวเป็นมันอยู่กันเป็นกระจุก 2-3 ใบ รากมีลักษณะเป็นฝอยอยู่ใต้ใบ ส่วนดอกจะออกเป็นช่ออยู่ตรงขอบทัลลัส มีเยื่อบาง ๆ ล้อมรอบดอก ดอกตัวผู้มี 1-2 อัน มีอับเรณู 1-2 ช่อง ส่วนดอกตัวเมียเป็นแบบรังไข่เดี่ยวและมีไข่เพียงหนึ่งใบ ผลของแหนเปิดเป็นแบบถุง เมื่อแก่แล้วจะไม่แตก มีลักษณะคล้ายถุงเล็กเป็นกระเปาะ สามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศด้วยการแตกหน่อ ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว

สกุลไข่น้ำ มีทัลลัสเป็นรูปทรงกลมหรือรูปไข่สีเขียวพองนูน ทั้งด้านบนและด้านล่างไม่มีราก โดยทัลลัสมีขนาดกว้างไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ดอกจะออกเป็นช่อขนาดเล็กเกิดอยู่ในถุง บริเวณขอบทัลลัส มีดอกเพศผู้และเพศเมียอย่างละหนึ่งดอก ไข่น้ำถูกจัดให้เป็นไม้ดอกที่เล็กที่สุดในโลก เนื่องจากไข่น้ำมีขนาดเล็กเพียง 3-5 มิลลิเมตร และมักปะปนกับพืชชนิดอื่นในวงศ์ Lemnaceae

แหนในสกุลแหนเปิดใหญ่และแหนเปิด มีโครงสร้างเรียกว่า turion ซึ่งเป็นอวัยวะสำหรับสะสมอาหารในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น ในสภาวะที่มีฟอสเฟตจำกัด ซึ่ง turion เหล่านี้จะสะสมแป้งจำนวนมากเพื่อใช้เป็นพลังงานสำรองเมื่อเข้าสู่ฤดูหนาวสำหรับกิจกรรมเมแทบอลิซึมในอนาคต [6] พืชสกุลแหนนิยมนำมาใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ เป็นแหล่งอาหารของปลาและสัตว์กระเพาะเดี่ยวจากธรรมชาติโดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีการแปรรูป เนื่องจากองค์ประกอบของโปรตีนค่อนข้างสูง (25.3-29.3%) [7] นอกจากนี้แหนเปิดยังมีความสามารถลดสารอาหารและปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำทั้ง

ชุมชนได้ อีกทั้งมีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียมได้ดี พืชสกุลเหวนจึงถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งทางการเกษตร [8–10]

ดังนั้นเหวนที่พบสามสกุลส่วนใหญ่ในประเทศไทยนั้น มีประโยชน์อย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นด้านอุปโภค บริโภค และมีคุณสมบัติในการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ แต่เนื่องจากประเทศไทยยังมีการศึกษาที่ค่อนข้างน้อย เหวนจึงมีความน่าสนใจที่จะทำการศึกษา เพื่อในอนาคตอาจพบเหวนสกุลใหม่ในไทยมากขึ้นก็เป็นได้ และทำให้สามารถนำไปวิจัยพัฒนาศึกษาประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. ระบุสกุลเหวนที่พบในแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
2. แสดงการแพร่กระจายของเหวนในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

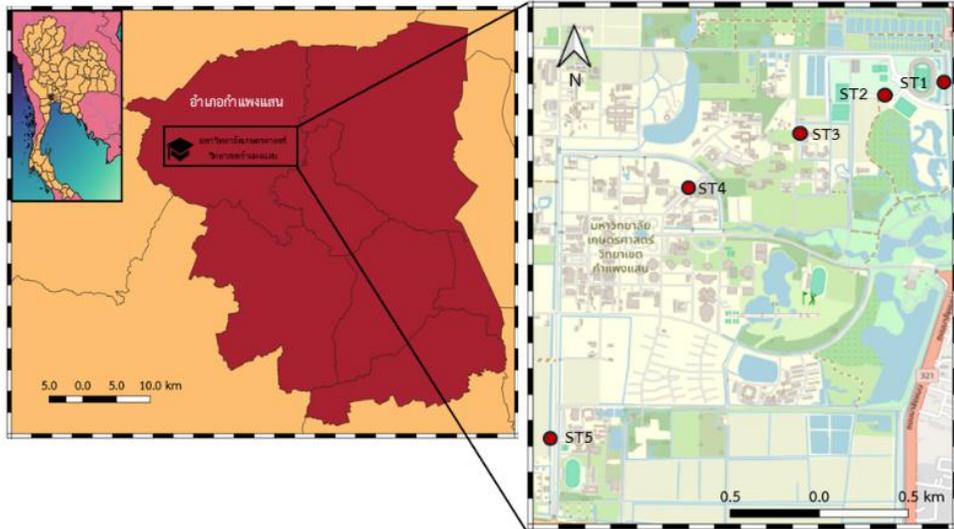
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่าง

กำหนดพื้นที่ศึกษาในบริเวณแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 สถานี ซึ่งเป็นบริเวณแหล่งน้ำที่พบการแพร่กระจายของเหวน (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 1–6) ดำเนินการเก็บตัวอย่างเหวนในช่วงที่มีการเจริญเติบโตของเหวนหนาแน่น ใช้สวิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ขนาดตาข่าย 1 มิลลิเมตร ชนิดมีด้ามจับตักเหวนในแหล่งน้ำ โดยตักให้เต็มสวิงในทุกครั้งและสุ่มให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด จัดจำแนกเหวนในระดับสกุลด้วยลักษณะทางสัณฐาน โดยใช้เอกสารของ Appenroth และคณะ [3] และ Popa และคณะ [4] พร้อมจัดทำแผนที่การแพร่กระจายของเหวนในแต่ละสกุล

ตารางที่ 2 สถานีเก็บตัวอย่างเหวนภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

| สถานีเก็บตัวอย่าง | พิกัด | ตัวอย่าง |
|--|---------------------------|----------|
| สถานีที่ 1 บริเวณข้างสระคณะประมง | 14°01'52.1"N 99°59'27.0"E | ST1 |
| สถานีที่ 2 บริเวณข้างสนามเทนนิสสระคณะประมง | 14°01'51.3"N 99°59'15.7"E | ST2 |
| สถานีที่ 3 บริเวณข้างหอพักจำปา 31 | 14°01'44.1"N 99°59'01.2"E | ST3 |
| สถานีที่ 4 บริเวณแนวต้นไม้แปลงข้างวัดด้านหลังอาคาร SC14 | 14°01'33.6"N 99°58'38.9"E | ST4 |
| สถานีที่ 5 บริเวณหน้าโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ | 14°00'47.2"N 99°58'12.7"E | ST5 |



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่าง 5 สถานี ได้แก่ สถานีที่ 1 บริเวณข้างสระคณะประมง (ST1), สถานีที่ 2 บริเวณข้างสนามเทนนิสสระคณะประมง (ST2), สถานีที่ 3 บริเวณข้างหอพักจำปา 31 (ST3), สถานีที่ 4 บริเวณแนวต้นไม้ด้านหลังอาคาร SC14 (ST4), สถานีที่ 5 บริเวณหน้าโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ST5) โดยใช้โปรแกรม QGIS เวอร์ชัน 3.42.0



ภาพที่ 2 สถานีที่ 1 บริเวณข้างสระคณะประมง (ST1)



ภาพที่ 3 สถานีที่ 2 บริเวณข้างสนามเทนนิสสระคณะประมง (ST2)



ภาพที่ 4 สถานีที่ 3 บริเวณข้างหอพักจำปา 31 (ST3)



ภาพที่ 5 สถานีที่ 4 บริเวณแนวต้นไม้แปลงล้างขวดด้านหลังอาคาร SC14 (ST4)



ภาพที่ 6 สถานีที่ 5 บริเวณหน้าโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ST5)

ปัจจัยกายภาพในพื้นที่ ณ วันเก็บตัวอย่าง (30 มิถุนายน 2564) อ้างอิงตาม Weather Underground [11] โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.35 ± 3.49 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้างเท่ากับ 25.00 ± 0.73 องศาเซลเซียส ความชื้นในอากาศเท่ากับ 69.17 ± 13.17 องศาเซลเซียส และท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก

2. ความคล้ายคลึงเชิงพื้นที่และเชิงชนิด

การหาความคล้ายคลึงเชิงพื้นที่และเชิงชนิด โดยใช้การคำนวณดัชนีความคล้ายคลึง ได้แก่ Jaccard similarity index (สมการ 1) สำหรับการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ [12] และ Sørensen coefficient index (สมการ 2) สำหรับการเปรียบเทียบเชิงชนิด [13] ดังนี้

Jaccard similarity index

$$J = \frac{a}{a+b+c} \dots\dots\dots \text{สมการ 1}$$

Sørensen coefficient index

$$S = \frac{2a}{2a+b+c} \dots\dots\dots \text{สมการ 2}$$

- เมื่อ
- a คือ จำนวนชนิดที่พบทั้ง 2 พื้นที่
 - b คือ จำนวนชนิดที่พบในพื้นที่ 1
 - c คือ จำนวนชนิดที่พบในพื้นที่ 2

ผลการวิจัย

1. ความหลากหลายและลักษณะของแหวน

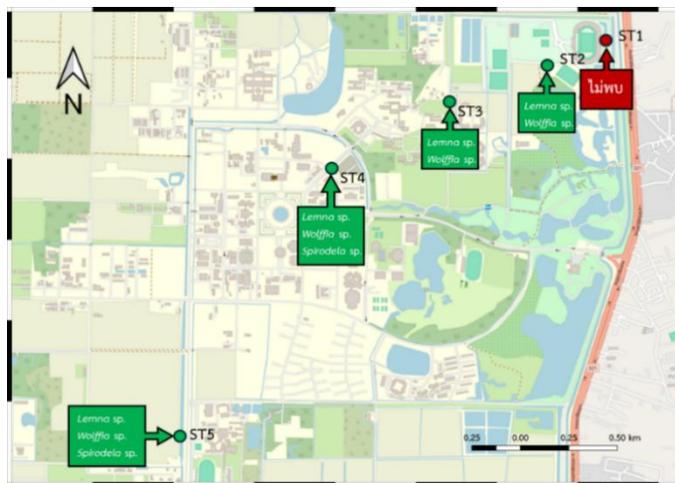
จากการเก็บตัวอย่างแหวนจากแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จากสถานีเก็บตัวอย่าง 5 สถานี ได้แก่ บริเวณข้างสระคณะประมง บริเวณข้างสนามเทนนิส สระคณะประมง บริเวณข้างหอพักจำปา 31 บริเวณแนวต้นแปรงล้างขวดด้านหลังอาคาร SC14 และ บริเวณหน้าโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบแหวนทั้งหมด 3 สกุล ได้แก่ *Spirodela*, *Lemna* และ *Wolffia* ซึ่งเป็นสกุลที่พบได้ทั่วไปในเขตร้อนและเขตอบอุ่น [9, 14]

2. การแพร่กระจายของแหวนที่พบในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

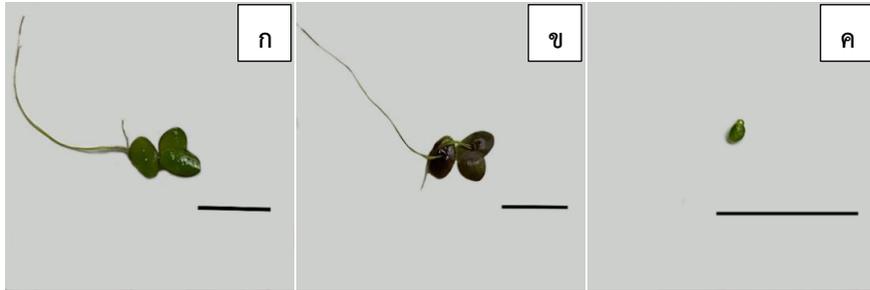
จากการสำรวจพบว่า แหวนมีการแพร่กระจายทั่วไปในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน แสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 7-11

ตารางที่ 3 ชนิดและการแพร่กระจายของแหวนในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

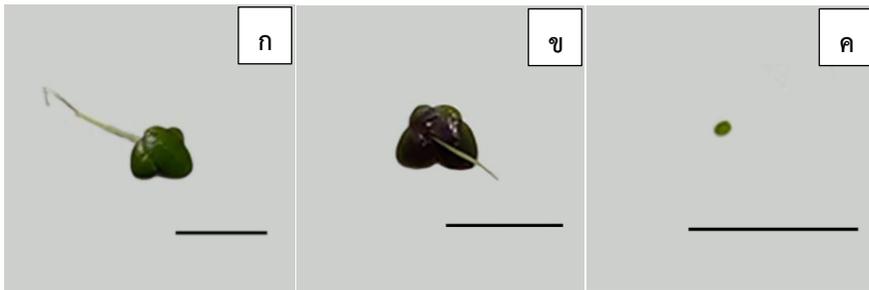
| สถานีเก็บตัวอย่าง | สกุลที่พบ | | |
|-------------------|--------------|----------------|------------------|
| | <i>Lemna</i> | <i>Wolffia</i> | <i>Spirodela</i> |
| ST1 | x | x | x |
| ST2 | ✓ | ✓ | x |
| ST3 | ✓ | ✓ | x |
| ST4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| ST5 | ✓ | ✓ | ✓ |



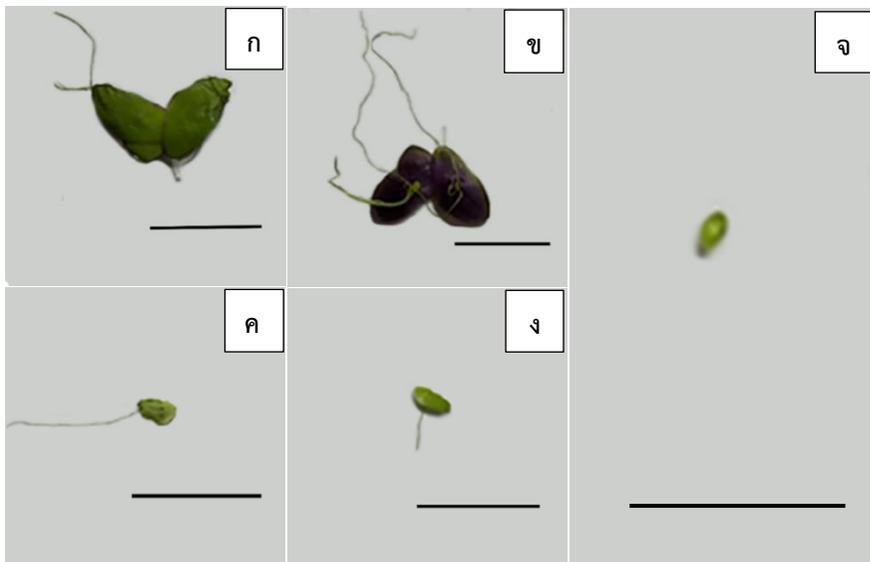
ภาพที่ 7 แผนที่การแพร่กระจายแหวนสกุล *Lemna*, *Wolffia* และ *Spirodela* ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน



ภาพที่ 8 แหนที่พบในสถานีที่ 2 (ก) ด้านหน้าของ *Lemna* sp. (ข) ด้านหลังของ *Lemna* sp. (ค) *Wolffia* sp. (เส้นบอกขนาดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร)



ภาพที่ 9 แหนที่พบในสถานีที่ 3 (ก) ด้านหน้าของ *Lemna* sp. (ข) ด้านหลังของ *Lemna* sp. (ค) *Wolffia* sp. (เส้นบอกขนาดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร)



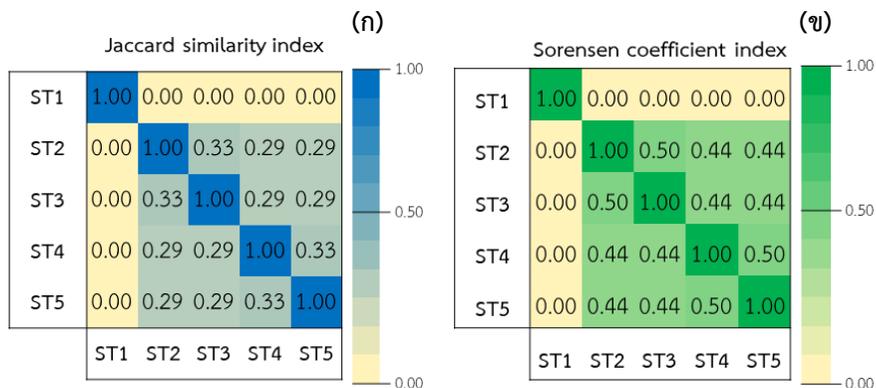
ภาพที่ 10 แหนที่พบในสถานีที่ 4 (ก) ด้านหน้าของ *Spirodela* sp. (ข) ด้านหลังของ *Spirodela* sp. (ค) ด้านหน้าของ *Lemna* sp. (ง) ด้านหลังของ *Lemna* sp. (จ) *Wolffia* sp. (เส้นบอกขนาดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร)



ภาพที่ 11 แหนที่พบในสถานีที่ 5 (ก) ด้านหน้าของ *Spirodela* sp. (ข) ด้านหลังของ *Spirodela* sp. (ค) ด้านหน้าของ *Lemna* sp. (ง) ด้านหลังของ *Lemna* sp. (จ) *Wolffia* sp. (เส้นบอกขนาดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร)

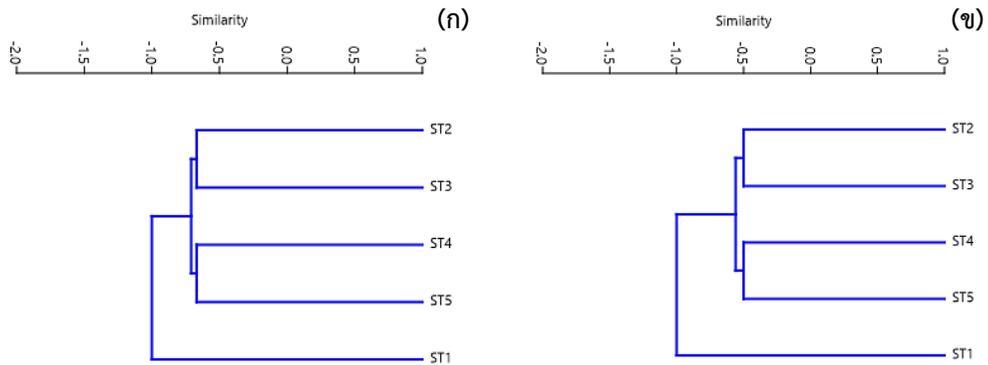
3. ความคล้ายคลึงการแพร่กระจายของแหนแต่ละพื้นที่และชนิด

การวิเคราะห์ความคล้ายคลึงการแพร่กระจายของแหนแต่ละพื้นที่และชนิด จากการวิเคราะห์การหาความคล้ายคลึงเชิงพื้นที่และเชิงชนิด โดยใช้การคำนวณดัชนีความคล้ายคลึง ได้แก่ Jaccard similarity index สำหรับการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ และ Sørensen coefficient index สำหรับการเปรียบเทียบเชิงชนิด พบว่าพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 สถานีมีความคล้ายคลึงกันอยู่ที่ 29% และ 33% และเมื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงเชิงชนิด พบว่าทั้ง 5 สถานีมีความคล้ายคลึงกันอยู่ที่ 44% และ 50% (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 แผนที่ความร้อน (heat map) แสดงค่าดัชนีความคล้ายคลึงการแพร่กระจายของแหนแต่ละพื้นที่และชนิด (ก) Jaccard similarity index (ข) Sørensen coefficient index

เมื่อนำค่าความคล้ายคลึงมาสร้างเดนโดแกรม (dendrogram) พบว่าความคล้ายคลึงเชิงพื้นที่ และเชิงชนิดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ สถานีที่ 2 กับสถานีที่ 3 มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด และทั้งสองสถานีมีความคล้ายคลึงกับสถานีที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ส่วนสถานีที่ 1 นั้นมีความแตกต่างจากสถานีอื่น ๆ (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 เดนโดแกรม (dendrogram) แสดงค่าดัชนีความคล้ายคลึงการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนแต่ละพื้นที่ และชนิด (ก) Jaccard similarity index (ข) Sørensen coefficient index โดยโปรแกรม PAST 4.03

อภิปรายผลการวิจัย

การพบแพลงก์ตอนทั้ง 3 สกุลในพื้นที่เดียวกันสะท้อนให้เห็นถึงความเหมาะสมของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่มีลักษณะนิ่ง มีแสงแดดเพียงพอ และมีปริมาณสารอาหารในระดับเหมาะสม [9] โดยสกุล *Lemna* และ *Wolffia* มีการแพร่กระจายในเกือบทุกสถานี ยกเว้นสถานีที่ 1 ไม่พบแพลงก์ตอน ซึ่งจากการสังเกตพบว่าพื้นที่เก็บตัวอย่างนี้มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมแหล่งน้ำ อาจทำให้แสงแดดส่องไม่ถึง อาจส่งผลทำให้แพลงก์ตอนไม่สามารถเจริญเติบโตในบริเวณนั้นได้ เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอน นอกจากนี้พบว่าแหล่งน้ำบริเวณดังกล่าวตอกกับท่อระบายน้ำ จึงอาจทำให้แพลงก์ตอนไหลไปตามกระแสเข้าสู่แหล่งน้ำอื่นได้ ในบริเวณข้างสนามเทนนิสระดมและบริเวณข้างหอพักจำปา 31 พบแพลงก์ตอน 2 สกุล ได้แก่ *Lemna* และ *Wolffia* ซึ่งสถานีดังกล่าวเป็นแหล่งน้ำขนาดเล็ก มีลักษณะสภาพแวดล้อมเป็นแหล่งน้ำนิ่ง มีน้ำขัง เป็นบริเวณที่โล่งแดดจัด มีวัชพืชปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ส่วนในบริเวณแนวต้นแปรงล้างขวดด้านหลังอาคาร SC14 และบริเวณหน้าโรงเรียนสาธิตฯ พบแพลงก์ตอน 3 สกุล ได้แก่ *Spirodela*, *Lemna* และ *Wolffia* โดยเมื่อเทียบกับสถานีอื่น ๆ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ทั้ง 2 สถานีเป็นแหล่งน้ำนิ่งขนาดกลางและขนาดใหญ่ ตามลำดับ มีวัชพืชขึ้นอยู่ริมน้ำ

รายงานก่อนหน้าระบุว่าแหนสกุล *Lemna* และ *Wolffia* สามารถเจริญได้ดีในน้ำในแหล่งน้ำหลากหลายประเภท เจริญเติบโตได้ในสภาวะที่แหล่งน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 5-7 และเป็นสภาวะที่มีการดูดซับไนโตรเจน ฟอสเฟต และโพแทสเซียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลให้แหนสกุลดังกล่าวมีความสามารถในการเจริญเติบโตในบริเวณนั้นได้ [15, 16] ส่วนสกุล *Spirodela* พบเฉพาะในบางสถานี คือ สถานีที่ 4 และ 5 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแหล่งน้ำขนาดใหญ่กว่า ซึ่งขนาดของแหล่งน้ำส่งผลต่อการหมุนเวียนของน้ำและการมีแหล่งธาตุอาหารที่เพียงพอ ทำให้เหมาะสมต่อการเจริญของแหนสกุลนี้ [9] ซึ่งการตอบสนองต่อปริมาณสารอาหารนี้ไม่ใช่เพียงปีนการเกิดขึ้นในภาคสนามเท่านั้น แม้แต่แหนชนิด *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza* และ *Wolffia brasiliensis* ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการก็ได้มีการตอบสนองต่อปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะอุณหภูมิต่ำประมาณ 18 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิและการพักตัวแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิด นอกจากนี้ปัจจัยการแข่งขันระหว่างพืชแต่ละชนิดในการครอบครองพื้นที่เพื่อการเจริญเติบโตเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในแต่ละพื้นที่มีองค์ประกอบเชิงชนิดแตกต่างกัน [17]

การแพร่กระจายของแหนในแต่ละบริเวณสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (bioindicator) ของคุณภาพน้ำได้ เนื่องจากแหนมักพบในน้ำที่มีสารอาหารปานกลางถึงสูง แต่ไม่ทนต่อการปนเปื้อนของสารกลุ่มโลหะหนักหรือมลสารในระดับสูง [15, 16] การที่พบแหนหลายสกุลในแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จึงเป็นตัวบ่งชี้อีกประการหนึ่งที่บ่งบอกได้ว่าแหล่งน้ำในพื้นที่แห่งนี้มีคุณภาพดี ดังนั้นการทำความเข้าใจการกระจายและองค์ประกอบเชิงชนิดของแหนในพื้นที่ท้องถิ่น ซึ่งถือเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ในพื้นที่อย่างยั่งยืนต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการแพร่กระจายของแหนทั้ง 3 สกุล (*Spirodela*, *Lemna* และ *Wolffia*) พบว่าการกระจายของแหนบ่งบอกได้ถึงสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นและทำให้ทราบว่าในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มีการแพร่กระจายของแหนในแหล่งน้ำหลายแห่งในการศึกษานี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเกี่ยวกับประโยชน์ของแหน การบำบัดน้ำเสีย และการนำแหนมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ และ ฝ่ายกิจการนิสิต คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความสนับสนุนทุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประดิษฐ์ เอี่ยมสะอาด. (2563). การศึกษาค้นคว้าของชีวมวลแห่น *Lemna minor* L. ในการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพ. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 16(3), 16–27.
- [2] สลิน ชันโรจน์. (2560). โครงการการพัฒนาแห่นเพื่อเป็นพืชน้ำตื้นแบบในการวิจัยพื้นฐานและการนำไปประยุกต์ใช้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ. รายงานการวิจัย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- [3] Appenroth, K. J., Borisjuk N., & Lam, E. (2013). Telling duckweed apart: Genotyping technologies for the Lemnaceae. Chinese Journal of Applied Environmental Biology, 19(1), 1–10.
- [4] Popa, R., Moga, Ioana C., Rissdorfer, M., Ilis, M. L., Petrescu, G., Craciun, N., Matache, M., Covaliu M., Cristina I., & Stoian, Gheorghe. (2017). Duckweed (Lemnaceae) utilization for freshwater conservation (management) in RAS. International Journal of Conservation Science, 8(4), 715–722.
- [5] Sree, K. S., Bog, M., & Appenroth, K. J. (2017). Taxonomy of duckweeds (Lemnaceae), potential new crop plants. Emirates Journal of Food and Agriculture, 28(5), 291–302.
- [6] Pasaribu, B., Iskandar, Rostika R., Zallesa S., Andriani Y., Apriliani I. M., Mahendra M. R. A., Kristiadi F., Zidni I., Hutagalung S., & Khan A. M. A. (2025). Morphological characteristics of turion formation and development in *Spirodela polyrhiza*. Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries, 29(4), 1677–1689.
- [7] Hassan, M., & Edwards, P. (1992). Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrhiza*) as feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Journal Aquaculture, 104, 315–326.
- [8] อัจฉริยะ นนโทโส, เพ็ญพรรณ ศรีสกุลเตียว, สมสมร แก้วบริสุทธิ์, และกมล เลิศรัตน์. (2560). การเพาะเลี้ยงแห่นเปิดด้วยน้ำหมักขยะอินทรีย์ครัวเรือน. วารสารแก่นเกษตร, 45(1), 71–78.
- [9] Zhao, Z., Huijuan, S., Yang, L., Hai, Z., Haifeng, S., Maolin, W., & Yun, Z. (2014). The influence of duckweed species diversity on biomass productivity and nutrient removal efficiency in swine wastewater. Journal Bioresource Technology, 167, 383–389.
- [10] Lili, F., Meng, H., Bingying H., Xuepiao, S., Sowjanya S. K., Klaus, J. A., & Jaiming, Z. (2017). Flower induction, microscope-aided cross-pollination, and seed production in the duckweed *Lemna gibba* with discovery of a male-sterile clone. Journal Scientific Reports, 7(1), 1–13.
- [11] Weather Underground. (2025). Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, Thailand weather history. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://www.wunderground.com/history/daily/th/kamphaengsaen/VTBK/date/2021-6-30> (10 พฤศจิกายน 2568).

- [12] Kleb, H., & Wilson, S. (1999). Scale of heterogeneity in prairie and forest. *Aspen Bibliography*, 77, 370– 376.
- [13] Sørensen, T., Sørensen, T., Biering-Sørensen, T., Sørensen, T., & Sorensen, J. T. (1948). A method of establishing group of equal amplitude in plant sociobiology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter/Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, 5, 1–34.
- [14] Dong, A., Changsheng, L., Yong, Z., Yongrui, W., & Wenqin, W. (2018). Genomes and Transcriptomes of duckweed. *Journal Frontiers in Chemistry*, 6, 1–11.
- [15] Jaiprasert, A. (2018). Development of duckweed transformation technique for biological application. Doctoral dissertation. Chonburi: Burapha University.
- [16] Intarachensiri, W. (2010). Utilization of common duckweed (*Lemna minor* L.) and giant duckweed (*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.) as a bioindicator under hypereutrophic condition. Master of Science Thesis. Bangkok: Mahidol University.
- [17] Ziegler, P., Appenroth, K. J., & Sree, K. S. (2023). Survival Strategies of Duckweeds, the World's Smallest Angiosperms. *Plants*, 12(11), 2215.

ฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดของกากผลมะแขว่นที่สกัดน้ำมันออกแล้ว *Alpha-Glucosidase Inhibitory Activities of Extract from Defatted Zanthoxylum limonella* (Dennst.) Alston Fruit Residues

วิมลพรรณ รุ่งพรหม* และ อักษรภักดิ์ แสงศรี
Wimolpun Rungprom* & Auksaraphak Sangsri

สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
Chemistry Program, Department of Science, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Si Rajabhat University

Submitted 30/09/2025 ; Revised 09/10/2025 ; Accepted 15/12/2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์การยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสของกากผลมะแขว่น (*Zanthoxylum limonella* (Dennst.) Alston) ที่สกัดน้ำมันออกแล้ว ซึ่งเป็นสิ่งที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันมะแขว่น โดยได้ทำการศึกษาวิธีการสกัดกากผลมะแขว่นด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี เพื่อทำการคัดเลือกหาประสิทธิภาพการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสที่ดีที่สุด ผลการทดลองได้ชี้ชัดว่า สารสกัดจากกากผลมะแขว่นตามวิธีที่ 1 เป็นวิธีสกัดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสารสกัดด้วยน้ำ (ZL-W) สามารถยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้หนูต่อซีสเตรตซูเครสได้สูงสุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 60.8 ± 0.04 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และพบว่าสามารถยับยั้งได้ดีกว่าอะคาโบส ยารักษาโรคเบาหวานที่เป็นตัวควบคุมเชิงบวกที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 77.1 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าสารสกัดด้วยน้ำสามารถยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้หนูต่อซีสเตรตมอลเทส โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 38.10 ± 1.21 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงกว่าสารสกัดเมทานอล (ZL-M) และสารสกัดเฮกเซน (ZL-H) ที่สกัดด้วยวิธีที่ 2 ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 104.70 ± 0.20 และ 106.70 ± 0.15 ตามลำดับ และทุกสารสกัดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งน้อยกว่าอะคาโบสที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.10 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นสารสกัดด้วยน้ำของกากผลมะแขว่นน่าจะมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นอาหารทางการแพทย์หรืออาหารเสริมในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดเพื่อป้องกันและรักษาโรคเบาหวานในอนาคตได้

คำสำคัญ: มะแขว่น การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส การสกัดแบบยาต้ม การสกัดแบบหมักแช่

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: rwimon@aru.ac.th

Abstract

The present research aims to examine the inhibitory activities against alpha-glucosidase of defatted dried fruit extracts of *Zanthoxylum limonella* (Dennst.) Alston, which are the residue from the production of *Zanthoxylum limonella* (Dennst.) Alston oil. The extracts prepared by two different extraction methods were screened for alpha-glucosidase (sucrase and maltase) inhibition. Apparently, the extract preparation by method 1 is an effective extraction method 1. The aqueous extract (ZL-W) showed the most potent inhibitory activity against rat intestinal sucrase with IC_{50} values of $60.8 \pm 0.04 \mu\text{g/mL}$. Also, it showed greater inhibition compared to acarbose, the diabetic drug used as a positive control with IC_{50} values of $77.1 \pm 0.02 \mu\text{g/mL}$. which are significantly different ($P < 0.05$). Additionally, ZL-W showed significant inhibitory activity against maltase with IC_{50} values of $38.10 \pm 1.21 \mu\text{g/mL}$, greater than methanol extract (ZL-M) and hexane extract (ZL-H) with IC_{50} values of $104.70 \pm 0.20 \mu\text{g/mL}$ and $106.70 \pm 0.15 \mu\text{g/mL}$, respectively. And all extracts were less effectively inhibited against maltase than Acabose which IC_{50} value is $7.10 \pm 0.01 \mu\text{g/mL}$. The overall results suggested that ZL-W is a potent extract that could be developed to be a medical food or supplement for glucose blood level control in the future.

Keywords: *Zanthoxylum limonella* (Dennst.) Alston, alpha-glucosidase inhibition, decoction, maceration

บทนำ

มะแขว่น มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zanthoxylum limonella* (Dennst.) Alston เป็นพืชสมุนไพรในวงศ์ Rutaceae พบมากในภาคเหนือของประเทศไทย เป็นพืชที่อุดมไปด้วยน้ำมันหอมระเหยที่กลิ่นคล้ายผิวส้ม นิยมนำมาใช้ปรุงแต่งอาหารพื้นเมืองเหนือที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น มะแขว่นเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ชอบอากาศเย็น เมื่อเพาะปลูกในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 800 เมตรขึ้นไปจะให้ผลผลิตที่ดี ส่วนที่นำมาใช้ในการปรุงอาหาร คือ ส่วนผล เปลือกของผลมีสีเขียวเมื่อแก่จัดจะมีสีน้ำตาล และมีกลิ่นหอมมากขึ้น โดยทั่วไปจะบริโภคมะแขว่นในแบบแห้งเป็นเครื่องเทศชนิดหนึ่งในการปรุงอาหาร โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งผลสดและผลแห้ง เมื่อนำผลสดและผลแห้งมาลั่นด้วยน้ำ พบว่าผลสดมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าผลแห้ง ซึ่งมีร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 2.30 และ 0.95 ตามลำดับ [1] เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยพบว่ามีส่วนประกอบหลักเป็น ลิโมนีน (limonene) ถึงร้อยละ 43.83 และ เทอร์ปีนอยด์ชนิดอื่น ๆ ได้แก่ แอลฟา-ไพเนน (α -pinene) เทอร์พีนีน (terpinene) นอกเหนือจากการบริโภคในรูปแบบเครื่องเทศปรุงแต่งรสอาหารแล้ว มะแขว่นยังมีสรรพคุณทางยา ช่วยขับลม แก้อาการปวดท้อง อาการอักเสบของลำไส้ มีการรายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพของมะแขว่น พบว่าสารสกัดจากมะแขว่นมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย (antibacteria) [2] ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ฤทธิ์ต้านอักเสบ (antiinflammation) [3] และฤทธิ์การยับยั้งไทโรซิเนส (tyrosinase) โดยเฉพาะน้ำมันหอมระเหยจากมะแขว่นมีการศึกษาวิจัยและพัฒนานำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ โดยเฉพาะแผนไทยที่พัฒนาน้ำมันมะแขว่นเป็นน้ำมันวดบรรเทาปวดเมื่อย ซึ่งได้รับการพัฒนาต่อยอดเชิงพาณิชย์เป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในแต่ละปีผลมะแขว่นถูกนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยในเชิงอุตสาหกรรม [4] ที่ทำให้มีมูลค่าการตลาดเพิ่มสูงขึ้นกว่าการบริโภคเพื่อปรุงแต่งรสชาติอาหาร ทำให้กากผลมะแขว่นที่สกัดน้ำมันออกแล้วมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ผู้วิจัยจึงสนใจนำกากผลมะแขว่นส่วนที่สกัดน้ำมันออกแล้วมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ไม่ให้เกิดเสียเปล่า ด้วยการนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ และทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase) เนื่องจากการยับยั้งกลูโคซิเดสเป็นการยับยั้งการสลายโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) บริเวณลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดที่ดีวิธีหนึ่ง สามารถป้องกันการเกิดโรคเบาหวานซึ่งแต่ละปีมีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มมากขึ้น โดยการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการสกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างและทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส เพื่อพัฒนาแนวทางการนำกากผลมะแขว่นไปใช้ประโยชน์ [5] ทั้งในรูปแบบอาหารเสริมเฉพาะบุคคลหรืออาหารทางการแพทย์ที่สามารถใช้ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหรือนำเสนอข้อมูลเพื่อให้ผู้บริโภคได้นำไปใช้ในการดูแลสุขภาพและป้องกันโรคเบาหวานด้วยตนเอง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีสกัดกากผลมะแขว่นด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม
2. เพื่อศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดจากผลมะแขว่นที่ได้จากตัวทำละลายและวิธีสกัดที่ต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การสกัดมะแขว่น

กากผลมะแขว่นที่สกัดน้ำมันออกแล้ว จากศูนย์วิจัยสารสกัดจากพืช จังหวัดเชียงใหม่ นำมาสกัด 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 การสกัดแบบยาต้ม (decoction)

นำกากผลแห้งมะแขว่นที่สกัดน้ำมันออกแล้วบดละเอียดหนัก 500 กรัม มาต้มกับน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 2 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำไปสกัดแยกส่วน (partition) ต่อกับไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) ในกรวยสกัด สารละลายจะแยกชั้น ชั้นบน คือ ชั้นไดคลอโรมีเทนออกจากชั้นล่าง คือ ชั้นน้ำ นำแต่ละชั้นไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator) จนแห้ง ทำการชั่งน้ำหนักสารสกัดที่ได้จากชั้นไดคลอโรมีเทน (ZL-DME) และสารสกัดที่ได้จากชั้นน้ำ (ZL-W)

วิธีที่ 2 การหมักแช่ (maceration)

นำกากผลแห้งมะแขว่น 500 กรัม มาแช่สกัดด้วยเมทานอล (methanol) 1 ลิตร เป็นเวลา 3 วัน สกัดซ้ำ 3 รอบ นำสารละลายเมทานอลนำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุนจนแห้ง แล้วนำมาละลายน้ำ นำสารละลายที่ได้สกัดแยกส่วนต่อด้วยเฮกเซน (hexane) ด้วยกรวยสกัดไซแยกสารละลายทั้งสองชั้น คือ ชั้นเฮกเซน (ZL-H) และชั้นสารละลายเมทานอล (ZL-M) นำแต่ละชั้นไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุนจนแห้ง แล้วทำการชั่งน้ำหนัก

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนู

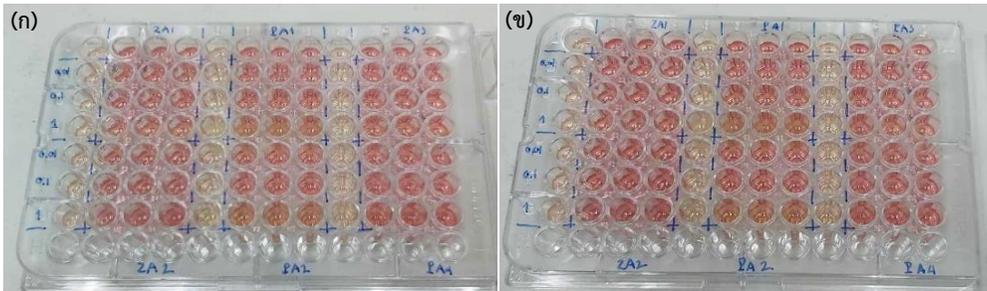
การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนู ดัดแปลงมาจากวิธีการของธนากรณ์ ตำสุด และชุตติมา แก้วพิบูลย์ [7] เริ่มจากการเตรียมเอนไซม์ซูเครส (sucrase) และมอลเทส (maltase) ชั่งเอนไซม์หยาบ (crude enzyme) จากลำไส้เล็กของหนู 1 กรัม เติมน้ำ 0.9% โซเดียมคลอไรด์ (0.9% NaCl) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ดูดสารละลายส่วนบนเพื่อไปหาความจำเพาะต่อซับสเตรต (substrate) ได้แก่ ซูโครสและมอลโทสทุกครั้งก่อนการทดสอบ การเตรียมตัวอย่างของส่วนสกัด ZL-W, ZL-DCM, ZL-M และ ZL-H ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.25, 0.5, 1, 5 และ 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยละลายสารตัวอย่างในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethylsulfoxide, DMSO) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เติมน้ำ 0.9% โซเดียมคลอไรด์ และมอลเทส จำนวน 20 ไมโครลิตร จากนั้นบ่มปฏิกิริยาเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เติมน้ำซับสเตรตซูโครสที่ความเข้มข้น 0.58 มิลลิโมลาร์ และมอลโทสที่ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ที่ละลายในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ pH 6.9 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นวัดความเข้มข้นของกลูโคสซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาโดยใช้ glu-kit (Sigma- Aldrich) แสดงดังภาพที่ 1 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-spectrophotometer, Tecan microplate reader Sunrise 30087502) โดยใช้อะคาร์โบส (acarbose) เป็นตัวควบคุมเชิงบวก

(positive control) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนูจากสมการ [8] ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (\% Inhibition)} = [(A_0 - A_1) / A_0 \times 100]$$

เมื่อ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ไม่มีสารสกัด

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาที่มีสารสกัด



ภาพที่ 1 การยับยั้งเอนไซม์ ซูโครส (ก) และ มอลเทส (ข) ด้วยการวัดความเข้มข้นของกลูโคส ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยา โดยใช้ glu-kit

คำนวณหาค่า IC_{50} (ความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนูได้ร้อยละ 50) โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารและร้อยละการยับยั้ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ (triplicates) ของการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงในรูป ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

ผลการสกัด

ผลการสกัดกากผลมะแขว่นทั้ง 2 วิธี ด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละสารสกัดกากผลมะแขว่นด้วยตัวทำละลายและวิธีการแตกต่างกัน

| วิธีสกัดที่ | ส่วนสกัด | น้ำหนัก (กรัม) | ร้อยละผลผลิต |
|-------------|----------|----------------|--------------|
| 1 | ZL-W | 26.3 | 5.26 |
| 1 | ZL-DCM | 15.9 | 3.18 |
| 2 | ZL-M | 40.3 | 8.06 |
| 2 | ZL-H | 13.5 | 2.70 |

การสกัดกากผลมะแขว่นด้วยตัวทำละลายและวิธีที่ต่างกันพบว่า การสกัดวิธีที่ 2 นั้น ZL-M มีน้ำหนักมากที่สุด 40.3 กรัม (ร้อยละผลผลิต 8.06) และลำดับถัดมาคือ ZL-W 26.3 กรัม (ร้อยละผลผลิต 5.26) ที่สกัดด้วยวิธีที่ 1

ผลการทดสอบการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสในลำไส้เล็กของหนู

นำ ZL-W, ZL-DCM, ZL-M และ ZL-H มาทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนู ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดจากตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ

| ส่วนสกัด | IC ₅₀ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) [*] | |
|----------|---|----------------------------|
| | ต่อซีสเตรตซูเครส | ต่อซีสเตรตมอลเทส |
| ZL-W | 60.8 ± 0.04 ^a | 38.10 ± 1.21 ^b |
| ZL-DCM | 682.8 ± 1.23 ^d | NI ^{**} |
| ZL-M | 61.9 ± 0.15 ^a | 104.70 ± 0.20 ^c |
| ZL-H | 104.2 ± 0.28 ^c | 106.70 ± 0.15 ^c |
| Acabose | 77.1 ± 0.02 ^b | 7.10 ± 0.01 ^a |

^{*} ค่าเฉลี่ย ± SD

^{**}NI = No inhibition (ไม่สามารถยับยั้งได้ โดยที่ร้อยละของการยับยั้งน้อยกว่า 50 ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

อักษรในแนวตั้ง คือ ลำดับการจัดกลุ่มความแตกต่างแบบค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 2 พบว่า ZL-W สามารถยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้หนูต่อซีสเตรตซูเครสได้สูงสุด โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 60.8±0.04 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และพบว่าสามารถยับยั้งได้ดีกว่าอะคาโบส ซึ่งเป็นยารักษาโรคเบาหวานที่เป็นตัวควบคุมเชิงบวก โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 77.1±0.02 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

นอกจากนี้พบว่า ZL-W สามารถยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้หนูต่อซีสเตรมอลเทส โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 38.10 ± 1.21 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงกว่า ZL-M และ ZL-H ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 104.70 ± 0.20 และ 106.70 ± 0.15 ตามลำดับ และทุกสารสกัดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งน้อยกว่าอะคาโบส ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.10 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ในขณะที่ ZL-DCM มีประสิทธิภาพในการยับยั้งต่อซีสเตรมอลเทสต่ำที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 682.8 ± 1.23 และไม่แสดงการยับยั้งเอนไซม์ต่อซีสเตรมอลเทสได้

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการสกัดกากผลมะแขว่นที่สกัดน้ำมันออกแล้วพบว่า เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งมาก ได้แก่ น้ำ เมทานอล จะให้ร้อยละผลผลิตของส่วนสกัดมากกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้ง เนื่องจากกากผลมะแขว่นที่นำมาศึกษาได้ถูกสกัดเอาน้ำมันมะแขว่นออกไปแล้ว โดยองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันมะแขว่นที่เคยมีรายงานไว้เป็นสารจำพวกมอนอเทอร์ปีนอยด์ (monoterpenoids) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่มีขี้ผึ้ง [3] จากผลการศึกษาการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสจากลำไส้หนูทั้งซูเครสและมอลเทสของสารสกัดจากกากผลมะแขว่นสกัดน้ำมันออกแล้วพบว่า ความมีขี้ผึ้งของตัวทำละลายที่ใช้สกัดมีผลต่อการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส [7] สารสกัดที่มีขี้ผึ้งสูง ได้แก่ ZL-W และ ZL-M มีแนวโน้มการยับยั้งที่ดีกว่าสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Pattanawongsa และคณะ [9] นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะแขว่นนอกจากมอนอเทอร์ปีนอยด์แล้ว ยังพบสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ แซนโทซิลิน (xanthoxyline) [10]

สำหรับน้ำมันหอมระเหยของมะแขว่นซึ่งองค์ประกอบหลักเป็นสารในกลุ่มมอนอเทอร์ปีนอยด์ยังไม่เคยมีรายงานว่าสามารถยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสได้ จากการสกัดกากผลมะแขว่นที่สกัดน้ำมันออกแล้วโดยต้มกับน้ำร้อน ระหว่างที่ให้ความร้อนพบว่าน้ำมันส่วนที่เหลือลอยเป็นฝ้าที่ผิวชั้นบนของสารละลาย เมื่อสกัดแยกส่วนด้วยไดคลอโรมีเทนน้ำมันส่วนที่เหลือจึงไปอยู่ในชั้นนี้แน่นอน ในส่วนการสกัดแบบหมักแช่ด้วยเมทานอลนั้น เนื่องจากเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งช่วงกว้าง สารอินทรีย์ส่วนใหญ่มักละลายได้ดีในเมทานอล ดังนั้นเมื่อทดสอบการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสพบว่า สารสกัดเมทานอลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส รองลงมาจากการสกัดด้วยน้ำร้อน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิธีการสกัดกากผลมะแขว่นสกัดน้ำมันออกโดยการสกัด 2 วิธี ด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ และสกัดแยกส่วนต่อพบว่า การสกัดด้วยการต้มด้วยน้ำร้อนก่อนเป็นการแยกน้ำมันหอมระเหยส่วนที่เหลือออกก่อน ซึ่งเป็นวิธีที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสอดคล้องกับแนวทางเคมีสีเขียว (green chemistry) การสกัดแยกส่วนด้วยไดคลอโรมีเทนนั้นเป็นเพียงการติดตามฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส และพบว่ามียุทธศาสตร์สกัดน้อยและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งต่ำที่สุด ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดด้วยการนำสารสกัดกากผลมะแขว่นด้วยน้ำร้อนที่มีฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส โดยทำการทดลองขึ้นสูงในร่างกายสิ่งมีชีวิตจริง (*in vivo*) นำไปสู่การใช้งานจริงในรูปแบบของอาหารเสริม (supplement food) หรืออาหารทางการแพทย์ (medical food) เพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนการวิจัย จากกองทุนพัฒนางานวิจัย สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ปีการศึกษา 2567

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. (2565). องค์ความรู้เพื่อการพัฒนาพื้นที่สูง “มะแขว่น” สูดยอดเครื่องเทศล้ำนา ออ้อยลิ้นชานานาประโยชน์. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://hkm.hrdi.or.th/Knowledge/detail/705> (7 ตุลาคม 2567).
- [2] ปภัสรา พันทิพย์. (2564). การสกัดสารยับยั้งไทโรซิเนสจากมะแขว่น. รายงานการวิจัย. เชียงราย: สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- [3] ณัฐกานต์ วงศ์สีสม, จามจุรี จินะตา, บุชบา มะโนแสน, จิระรัชต์ กันทะขู้, สุรีพร วันควร และสุภาวดี ศรีแย้ม. (2557). การศึกษาฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคในอาหารของน้ำมันหอมระเหยจากมะแขว่น. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., 37(1), 3–15.
- [4] จุริภรณ์ อิมพัฒน์, ณวัชพงศ์ ไชยรัตน์, และนันทกานต์ ชินอัศววัฒน์. (2555). ฤทธิ์ระงับปวดของมะแขว่น. รายงานการวิจัย. เชียงราย: มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- [5] จิระภัทร บุญยิ่ง. (2561). การศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำมันหอมระเหยจากมะแขว่น *Zanthoxylum limonella* Alston ในไมโครแคปซูลด้วยวิธีคอมเพล็กซ์โคเอเซอร์เวชัน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัย.
- [6] Hadayat, M. K., & Lapraz, J. C. (2019). Introduction to the usage of medicinal plants (pp. 255–266). In *The theory of endobiogeny: Volume 1. Global system thinking and biological modeling for clinical medicine*. Amsterdam: Elsevier.
- [7] ธนากรณ ดำสุด, และชุตินา แก้วพิบูลย์. (2559). ฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสของส่วนสกัดจากผักสลัดน้ำ. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 11(2), 65–74.
- [8] Rungprom, W. (2018). Antioxidant and antihyperglycemic activities of four edible *Lentinus* mushrooms. *Current Applied Science and Technology*, 18(2), 75–82.
- [9] Pattanawongsa, A., Klongsiriwet, C., Thaina, P., Prammano, A., Maneechai, N., Saengphrom, P., Yusakul, G., & Utsingtong, M. (2021). *In vitro* and *in vivo* effects of *Zanthoxylum limonella* (Dennst.) Alston crude extracts and volatile oil on blood glucose reduction. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 46(6), 433–441.
- [10] Supabphol, R., & Tangjitjareonkun, J. (2014). Chemical constituents and biological activities of *Zanthoxylum limonella* (Rutaceae): A review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(12), 2119–2130.

กระบวนการเตรียมต้นฉบับ วารสารวิชาการชายน์เทค มรภ.ภูเก็ต

วารสารวิชาการชายน์เทค มรภ.ภูเก็ต มีวัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (research article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ ประกอบด้วย ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ และทางด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความรู้ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับผลงานวิจัย จัดพิมพ์ออกเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม) ดำเนินการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารออนไลน์เท่านั้น โดยมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ผู้เขียนส่งบทความต้นฉบับได้ตลอดทั้งปี
2. กองบรรณาธิการตรวจสอบความสมบูรณ์ ความถูกต้อง และคุณภาพของบทความต้นฉบับ
3. กองบรรณาธิการเตรียมต้นฉบับจัดส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องในสาขาวิชานั้น ๆ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินบทความ
4. กองบรรณาธิการส่งต้นฉบับที่ปรับแก้ไขแล้วพร้อมสรุปผลการประเมินคุณภาพต้นฉบับ
5. ผู้เขียนปรับแก้ไขและชี้แจงการปรับแก้ไขกลับมายังกองบรรณาธิการ
6. กองบรรณาธิการตรวจสอบการปรับแก้ไข ความถูกต้อง และรูปแบบการเขียนต้นฉบับ
7. กองบรรณาธิการออกหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ และเผยแพร่ต้นฉบับดังกล่าว ผ่านทางเว็บไซต์
8. กองบรรณาธิการ ดำเนินการรวบรวมต้นฉบับที่จะตีพิมพ์ และส่งต้นฉบับให้ผู้เขียนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเป็นรอบสุดท้าย
9. กองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่วารสารวิชาการชายน์เทค มรภ. ภูเก็ต

ข้อตกลงการส่งบทความสำหรับผู้แต่ง

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ผู้เขียนต้องเขียนต้นฉบับตามรูปแบบของวารสารวิชาการ ชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต
3. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
4. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้ลอกหรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตหรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
5. กรณีที่มีการวิจัยในสัตว์หรือในมนุษย์ ต้นฉบับที่จะได้รับการพิจารณาเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ต้องแสดงข้อมูลการรับรองการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์หรือการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ไว้ในส่วนของวิธีดำเนินการวิจัย
6. ผลการประเมินต้นฉบับ มี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ระดับการแก้ไข แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ไม่มีการแก้ไข แก้ไขน้อย แก้ไขปานกลาง และแก้ไขมาก ส่วนที่ 2 ผลการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิต่อการตีพิมพ์เผยแพร่ แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่มีการแก้ไข แก้ไขก่อนตีพิมพ์เผยแพร่ เขียนใหม่ก่อนตีพิมพ์เผยแพร่ และไม่ควรตีพิมพ์เผยแพร่ ในการพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ ชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต จะพิจารณาผลจากการประเมินในส่วนที่ 2 ซึ่งต้นฉบับนั้นต้องได้รับการประเมินตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่มีการแก้ไข หรือแก้ไขก่อนตีพิมพ์เผยแพร่เท่านั้น จึงจะได้รับการตอบรับการตีพิมพ์ (accepted)
7. เมื่อได้รับผลการอ่านประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ผู้เขียนต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ (reviewer) และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการ หลังจากผู้เขียนได้แก้ไขต้นฉบับแล้ว กองบรรณาธิการจะทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง
8. กองบรรณาธิการจะส่งร่างต้นฉบับเพื่อให้ผู้เขียนตรวจสอบความถูกต้องก่อนตีพิมพ์เผยแพร่
9. วารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต ปรับค่าธรรมเนียมการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต สำหรับบทความที่ส่งเข้าสู่ระบบตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2568 เป็นต้นไป จากเดิม บทความละ 5,000 บาท โดยแบ่งจ่ายเป็น 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 จำนวน 3,500 บาท ชำระเมื่อได้รับการพิจารณาเชิงคุณภาพเบื้องต้นโดยกองบรรณาธิการแล้ว และครั้งที่ 2 จำนวน 1,500 บาท

ชำระเมื่อผ่านกระบวนการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและเห็นชอบให้ตีพิมพ์ ในวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต เป็น 3,500 บาท โดยชำระค่าธรรมเนียม ในการตีพิมพ์ 2 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 ชำระค่าธรรมเนียม จำนวน 2,500 บาท เมื่อ ได้รับการพิจารณาเชิงคุณภาพเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ และครั้งที่ 2 ชำระ ค่าธรรมเนียม จำนวน 1,000 บาท เมื่อผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและ กองบรรณาธิการเห็นชอบให้ตีพิมพ์ในวารสาร (หมายเหตุ ในกรณีที่บทความของ ผู้นิพนธ์ไม่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิหรือจากการตัดสินใจของ บรรณาธิการหรือกรณีอื่นใด หรือเกิดจากบทความบกพร่องของผู้นิพนธ์ ทาง วารสารฯ ขอสงวนสิทธิ์ไม่คืนค่าธรรมเนียม)

10. จำนวนหน้า บทความต้นฉบับมีความยาวอยู่ระหว่าง 10–12 หน้า รวมตาราง รูปภาพ และเอกสารอ้างอิง

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความ

กองบรรณาธิการได้กำหนดระเบียบในการจัดทำเพื่อให้ผู้เขียนยึดเป็นแนวทางใน การดำเนินการสำหรับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต ดังนี้

1. การตั้งค่าน้ำกระดาษของบทความต้นฉบับ ใช้ขนาด B5 โดยระยะห่างของ ขอบกระดาษ 1 นิ้ว ทั้ง 4 ด้าน
2. ต้นฉบับจัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ เนื้อหาหลักใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา จัดชิดขอบกระดาษทั้งสองด้าน
3. เนื้อหาเป็นภาษาไทยเท่านั้น ควรแปลคำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทยให้มากที่สุด ในกรณีที่คำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นคำเฉพาะที่แปลไม่ได้หรือแปลแล้วไม่ได้ ความหมายชัดเจนให้ใช้คำศัพท์ภาษาอังกฤษได้ และควรใช้ภาษาที่ผู้อ่านเข้าใจง่าย ชัดเจน
4. หัวข้อหลัก ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิด ขอบกระดาษด้านซ้าย
5. หัวข้อย่อย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ระบุ หมายเลขหน้าหัวข้อย่อยโดยเรียงตามลำดับหมายเลขตำแหน่ง ให้ Tab 1 เซนติเมตร จากอักษรตัวแรกของหัวข้อหลัก
6. หากใช้คำย่อต้องเขียนคำเต็มไว้ครั้งแรกก่อน
7. ท้ายกระดาษ ประกอบด้วย เลขหน้า ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านขวาล่าง

8. รูปภาพและตารางควรวางใกล้กับตำแหน่งที่ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรก โดยขนาดของรูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 pixel (บันทึกเป็น .png, .jpeg, .tiff) และแนบไฟล์ต้นฉบับของรูปแยกมาด้วย

การเรียงลำดับเนื้อหาและรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ในต้นฉบับ

1. ชื่อเรื่องภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด (ไม่ควรเกิน 100 ตัวอักษร)
2. ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด โดยขึ้นต้นทุกคำด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ยกเว้นคำบุพบท
3. ชื่อผู้แต่ง ต้องเขียนทั้งภาษาไทยและอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ใต้ชื่อเรื่อง ให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำหนดเป็นตัวยก กำกับท้ายนามสกุล ของผู้ประสานงานหลัก
4. หน่วยงานหรือสังกัดที่ทำวิจัย ต้องเขียนทั้งภาษาไทยและอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวเอียง ตำแหน่ง กึ่งกลางหน้ากระดาษใต้ชื่อผู้เขียน ให้ใส่ตัวเลขยกกำกับท้ายนามสกุล และ ด้านหน้าหน่วยงานหรือสังกัด
5. เจริญพร กำหนดเจริญพรในหน้าแรกของบทความ ให้ใส่เครื่องหมายดอกจันตามด้วยข้อความ ดังนี้ *ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author) โดยใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา และระบุ E-mail: โดยใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวเอียง
6. หัวข้อบทคัดย่อภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้ายใต้ที่อยู่/หน่วยงานสังกัดของผู้เขียน เนื้อหาบทคัดย่อไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรกเว้น Tab 1 เซนติเมตร จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน (ควรเขียนสรุปสาระสำคัญ ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือ 15 บรรทัด)
7. หัวข้อคำสำคัญภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย ใต้บทคัดย่อภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ไม่เกิน 4 คำ เว้นระหว่างคำด้วยการเคาะ 1 ครั้ง

8. หัวข้อบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิด ตัวหนา ตำแหน่งขีดขอบกระดาษด้านซ้ายใต้ที่อยู่/หน่วยงานสังกัดของผู้เขียน เนื้อหาบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิด ตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรกเว้น Tab 1 เซนติเมตร จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ขีดขอบทั้งสองด้าน (ควรเขียนสรุปสาระสำคัญ ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือ 15 บรรทัด)
9. หัวข้อคำสำคัญภาษาอังกฤษ (Keyword) ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิด ตัวหนา ตำแหน่งขีดขอบกระดาษด้านซ้าย ใต้บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิด ตัวธรรมดา ไม่เกิน 4 คำ เว้นระหว่างคำด้วย Comma “,”
10. บทนำ บอกถึงที่มา นำไปสู่การศึกษาวิจัย รวมถึงการอ้างอิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
11. วัตถุประสงค์ ชี้แจงจุดมุ่งหมายของงานวิจัย
12. วิธีดำเนินการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่ม ตัวอย่างที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล
13. ผลการวิจัย ควรนำเสนอสิ่งที่ได้จากการศึกษา ในรูปแบบตาราง กราฟ หรือ แผนภาพ ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้าย และขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ไม่ควรมีเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพที่ชัดเจน (ความละเอียดอย่างน้อย 300 pixel) และมีคำบรรยายใต้รูป (ตั้ง Template) กรณีที่ผู้เขียนต้นฉบับประสงค์จะใช้ภาพสี จะต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายดังกล่าว
14. อภิปรายผลการวิจัย ควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้อง ประกอบ เพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
15. สรุปผลการวิจัย ควรให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์และระเบียบวิธีการวิจัย
16. กิตติกรรมประกาศ ควรกล่าวถึงแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยอย่างกระชับ
17. เอกสารอ้างอิง ขีดขอบซ้าย เนื้อหาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ TH SarabunPSK ขนาด 14 pt ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชื่อผู้เขียนขีดขอบซ้าย หากยาวเกิน 1 บรรทัด ให้ตัวอักษรในบรรทัดถัดไปตรงกับตัวอักษรแรกของชื่อในบรรทัดแรก การอ้างอิงเอกสารให้เขียนตามรูปแบบที่วารสารกำหนด ดังนี้

- 17.1 การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ให้ใส่เลขลำดับการอ้างอิงอยู่ในวงเล็บ [...] เช่น แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและแบ่งการเคลื่อนที่ของแผ่นโลกออกเป็น 3 แบบ คือ การชนกัน การแยกจากกัน และแบบรอยเลื่อน [1]
- 17.2 การเขียนรายการอ้างอิงท้ายบทความให้เรียงลำดับรายการตามการอ้างอิงในบทความ ไม่ใช่ตามตัวอักษรของรายการที่อ้างอิง
- 17.3 ลงชื่อผู้แต่งทุกคน โดยคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างผู้แต่งแต่ละคน และให้ใช้คำว่า “และ” นำหน้าผู้แต่งคนสุดท้ายในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย หรือใช้ “&” นำหน้าผู้แต่งคนสุดท้ายในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ กรณีชื่อผู้แต่งชาวไทย: ชื่อและนามสกุลเต็ม กรณีชื่อผู้แต่งชาวต่างประเทศ: นามสกุล, ตัวอักษรย่อของชื่อต้นและชื่อกลาง
- 17.4 ปีที่พิมพ์อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ (...) หากอยู่ในระหว่างการพิมพ์ ให้ใช้ “(อยู่ระหว่างการพิมพ์)” ในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย หรือใช้ “(in press)” ในกรณีเอกสารอ้างอิงนั้นเป็นภาษาอังกฤษ
- 17.5 ชื่อเรื่องที่เป็นภาษาอังกฤษให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะคำแรก อักษรตัวแรกของชื่อเรื่องย่อและ/หรือชื่อเฉพาะ (ถ้ามี) ใช้อักษรตัวเอียงในการพิมพ์

ตัวอย่างการอ้างอิง

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทความในวารสารวิชาการ (research/review article)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่(ฉบับที่), เลขหน้าที่ปรากฏบทความในวารสาร.

[1] นรภัทร น้อยหลบลู และชวิศร ปุคะภาค. (2559). การพัฒนากังหันเติมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 35(2), 141–149.

[2] Lu, Y., & Larock, R. C. (2011). Synthesis and properties of grafted latices from a soybean oil-based waterborne polyurethane and aryls. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(6), 3305–3314.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น หนังสือ (book)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง (ครั้งที่พิมพ์). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

[3] บพิธ จารุพันธุ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2558). สัตววิทยา (พิมพ์ครั้งที่ 7). สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] Hickman, C. P. Jr., Roberts, L. S., Keen, S. L., Eisenhour, D. J., Larson, A., & L'Anson, H. (2014). Integrated principles of zoology (6th edition). McGraw-Hill.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทในหนังสือ (Book chapter)

[...] ผู้แต่งในบท. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบท. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.). ชื่อหนังสือ (พิมพ์ครั้งที่., หน้า.). สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

[5] Agrawal, R., Mannila, H., Srikant, R., Toivonen, H., & Verkamo, A. I. (1996). Fast discovery of association rules. In Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., & Uthurusamy, R. (eds). Advances in knowledge discovery and data mining (pp. 307–328). AAAI Press.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานการวิจัย (research report)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. รายงานผลการวิจัย. ชื่อหน่วยงานหรือสังกัด.

[6] ฐิตาภรณ์ ภูมิไชย, กฤษดา สังข์สิงห์, และเฉลิมพล ภูมิไชย. (2557). การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสมบัดไม้ยางพารา. รายงานการวิจัย. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น วิทยานิพนธ์ (thesis)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท/มหาบัณฑิต หรือ Doctoral/Master's thesis. สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

[7] พรธณี สอาดฤทธิ์. (2545). ความหลากหลายและการแพร่กระจายของคลาโดเซอราในแหล่งน้ำจืด จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceedings)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ใน ชื่องานประชุมวิชาการ (จัดงานครั้งที่). หน้า.

[8] วันวิสาข์ ชิดเชื้อ, และพงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา. (2553). อนุกรมวิธานของหอยทากบกในเขตอำเภอแกลง จังหวัดระยอง และอำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, 161–170.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น เว็บไซต์ (website)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. [ออนไลน์], สืบค้นจาก ระบุ URL ของเว็บไซต์ (วัน เดือน ปี ที่สืบค้น)

[9] สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2562). องค์ความรู้เกี่ยวกับแมงกะพรุนพิษในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://km.dmcrc.go.th> (6 พฤศจิกายน 2562).

การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ในระบบ ThaiJo2.0

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech/index>

การประเมิน และลิขสิทธิ์

1. การอ่านประเมินบทความต้นฉบับ ต้นฉบับจะได้รับการอ่านประเมิน โดยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยในสาขาวิชานั้น ๆ จำนวน 3 ท่านต่อเรื่อง และส่งผลการประเมินคืนผู้เขียนเพื่อปรับปรุง แก้ไข หรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี ทั้งนี้กองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องเป็นบุคคลที่อยู่คนละหน่วยงานกับผู้เขียนไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมดต้องไม่เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อผู้เขียนหรือบทความวิจัยดังกล่าว

2. เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

3. ลิขสิทธิ์ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต

ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK, 16 pt, ตัวหนา, ยาวไม่เกิน 2 บรรทัด)

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ (ขึ้นต้นทุกคำด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ยกเว้นคำบุพบท)

ชื่อ นามสกุล^{*1} ชื่อ นามสกุล¹ และ ชื่อ นามสกุล²

Full name^{*1}, Full name¹, & Full name²

(TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา ใช้เครื่องหมาย * ตัวยก หลังนามสกุลของผู้ประสานงาน)

ที่อยู่หน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK, 12 pt, ตัวเอียง)

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

¹Science Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

²Environmental Science Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

บทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, Tab 1 cm) ความยาวสูงสุดไม่ควรเกิน 250 คำ
เขียนเพียง 1 ย่อหน้า และไม่มีการเขียนอ้างอิงในส่วนของบทคัดย่อ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำสำคัญ (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา): (ไม่เกิน 4 คำ) (TH SarabunPSK, 14 pt)

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author) (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

E-mail: (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวเอียง)

E-mail: ผู้วิจัยร่วม ทุกคน (อีเมลของผู้วิจัยร่วมนี้จะไม่ปรากฏในบทความวิจัย แต่ทางวารสารจำเป็นต้องบันทึกอีเมลของนักวิจัยทุกคนในระบบ ThaiJo)

Abstract (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, Tab 1 cm) ความยาวสูงสุดไม่ควรเกิน 250 คำ
เขียนเพียง 1 ย่อหน้า และไม่มี การเขียนอ้างอิงใน ส่วนของบทคัดย่อ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Keywords(TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา): (ไม่เกิน 4 คำ) (TH SarabunPSK, 14 pt)

keywords เป็นตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อบุคคล ชื่อสถานที่ และคำศัพท์เฉพาะ (technical term)

ข้อแนะนำ

1. บทความวิจัยควรมีความยาวไม่เกิน 10-12 หน้า กระดาษ B5
2. ลักษณะการเขียนเป็นรูปแบบ 1 คอลัมน์
3. หัวข้อใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา
4. เนื้อหาใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวปกติ
5. Line and Paragraph Spacing ให้ใช้ 1.0
6. การอ้างอิงให้ใช้ระบบตัวเลขอยู่ภายใน [...] และจะต้องเรียงลำดับเช่นนี้ในส่วนของเอกสารอ้างอิงท้ายบทความ

โดยมีรายละเอียดหัวข้อ ดังนี้

บทนำ (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

บทนำสามารถเขียนได้มากกว่า 1 ย่อหน้า โดยอธิบายถึงที่มา ปัญหาวิจัย คำถามวิจัย และการทบทวนวรรณกรรม (literature review) โดยไม่ต้องแยกเป็นหัวข้อย่อย

การอ้างอิงในเนื้อหา ใช้ระบบตัวเลขอยู่ภายใน [...] (TH SarabunPSK, 14 pt) เช่น [1] หรือ [1, 2, 4] หรือ [1-3] โดยตัวเลขจะเป็นลำดับของการอ้างอิง และจะต้องเรียงลำดับเช่นนี้ในส่วนของเอกสารอ้างอิงท้ายบทความ

วัตถุประสงค์ (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

1.(TH SarabunPSK, 14 pt)
2.(TH SarabunPSK, 14 pt)

วิธีดำเนินการวิจัย (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

หัวข้อย่อย

ถ้าผู้เขียนต้องการเขียนหัวข้อย่อย ให้ทำตัวหนา แต่ต้องไม่ขีดขอบเป็นแนวเดียวกับหัวข้อหลัก รูปภาพควรวางใกล้กับตำแหน่งที่ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรก ขนาดของรูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 dpi (โดยบันทึกเป็น .png .gif หรือ .tif)

.....
.....
.....

หัวข้อย่อย

.....
.....
..... (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ภาพควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก

ผลการวิจัย

หัวข้อย่อย

.....
.....
..... (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1

| No. | Heading 1 | Heading 2 | Heading 3 |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 1 | Data 1.1 | Data 1.2 | Data 1.3 |
| 2 | Data 2.1 | Data 2.2 | Data 2.3 |
| 3 | Data 3.1 | Data 3.2 | Data 3.3 |
| 4 | Data 4.1 | Data 4.2 | Data 4.3 |

ข้อแนะนำ

1. ตารางควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก
2. ตารางควรจัดตัวอักษรให้อยู่ตรงกลาง
3. เส้นตารางใช้เฉพาะแนวนอน

หัวข้อย่อ

.....
.....
..... (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ภาพควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก

อภิปรายผลการวิจัย

อภิปรายผลการวิจัยสามารถเขียนได้มากกว่า 1 ย่อหน้า และสามารถมีหัวข้อย่อได้ โดยอธิบายว่าทำไมจึงได้ผลการวิจัยเป็นเช่นนั้น สอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าหรือไม่อย่างไร อธิบายถึงประโยชน์ การประยุกต์ใช้ ปัญหาและอุปสรรค หรือโจทย์วิจัยที่จะต่อยอดจากงานวิจัยครั้งนี้ เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

.....

.....

.....

กิตติกรรมประกาศ

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง เรียงลำดับตามการกล่าวถึงในบทความ

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทความในวารสารวิชาการ (research/review article)

- [1] นรภัทร น้อยหลบลูเอา, และชวิศร ปุคะภาค. (2559). การพัฒนาภัณฑ์เติมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 35(2), 141-149.
- [2] Lu, Y., & Larock, R. C. (2011). Synthesis and properties of grafted latices from a soybean oil-based waterborne polyurethane and aryls. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(6), 3305-3314.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น หนังสือ (Book)

- [3] บพิธ จารุพันธุ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2558). สัตววิทยา (พิมพ์ครั้งที่ 7). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] Hickman, C. P. Jr., Roberts, L. S., Keen, S. L., Eisenhour, D. J., Larson, A., & l'Anson, H. (2014). *Integrated principles of zoology* (6th edition). McGraw-Hill.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทในหนังสือ (Book chapter)

- [5] Agrawal, R., Mannila, H., Srikant, R., Toivonen, H., & Verkamo, A. I. (1996). Fast discovery of association rules. In Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., & Uthurusamy, R. (eds). *Advances in knowledge discovery and data mining* (pp. 307–328). AAAI Press.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานการวิจัย (research report)

- [6] จิตถาวรณ ภูมิไชย์, กฤษดา สังข์สิงห์, และเฉลิมพล ภูมิไชย์. (2557). การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสมบัติไม่ยางพารา. รายงานการวิจัย. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น วิทยานิพนธ์ (thesis)

[7] พรรณี สอาดฤทธิ. (2545). ความหลากหลายและการแพร่กระจายของคลาโดเซอราในแหล่งน้ำจืด จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceedings)

[8] วันวิสาข์ ชิดเชื้อ, และพงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา. (2553). อนุกรมวิธานของหอยทากบกในเขต อำเภอกาหลง จังหวัดระยอง และอำเภอกำแพงแสน จังหวัดจันทบุรี. ใน การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, 161-170.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น เว็บไซต์ (website)

[9] สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2562). องค์ความรู้ เกี่ยวกับแมงกะพรุนพิษในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://km.dmcr.go.th> (6 พฤศจิกายน 2562).

วารสารวิชาการชายน์เทคโนโลยี มรท.ภูเก็ต
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
21 ม. 6 ด.เทพกระษัตรี ต.รัษฎา อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000
โทรศัพท์ : 076 - 523094 - 7 ต่อ 4000
<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech/index>
E-mail : researchscience@pkru.ac.th

