

วารสาร

เทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร

(Journal of Technology and Agricultural Innovation)

ISSN 2822 - 1303 (ONLINE)

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2

กรกฎาคม - ธันวาคม 2568



วารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร (Journal of Technology and Agricultural Innovation)

.....

1. ที่ปรึกษา

- 1.1 อธิการบดีมหาวิทยาลัยทักษิณ
- 1.2 รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
- 1.3 ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและนวัตกรรม (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
- 1.4 คณบดีคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

2. บรรณาธิการ

- 2.1 รองศาสตราจารย์ ดร.สรพงศ์ เบญจศรี (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

3. รองบรรณาธิการ

- 3.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภา ศิริรัฐนิคม (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

4. กองบรรณาธิการ

- 4.1 ศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจักษ์ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
- 4.2 รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต ยวงสร้อย (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
- 4.3 รองศาสตราจารย์ ดร.วาริน อินทนา (มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์)
- 4.4 รองศาสตราจารย์ ดร.ชูกริ หะยีสำแม (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
- 4.5 รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพันธุ์ ประภาติกุล (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)
- 4.6 รองศาสตราจารย์ ดร.กนกพร สังข์รักษ์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต)
- 4.7 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย หาระโคตร (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)
- 4.8 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกช นาคคะนอง (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
- 4.9 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกุลกานต์ สิมลา (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม)
- 4.10 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ ชุ่มทอง (มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา)
- 4.11 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกุลรัตน์ หาญศึก (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย)
- 4.12 ศาสตราจารย์ ดร.สรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
- 4.13 รองศาสตราจารย์ ดร.สมัคร แก้วสุกแสง (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
- 4.14 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชุมาล หวานแก้ว (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
- 4.15 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิงสุภาพร สมรูป (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

5. เจ้าหน้าที่ประจำวารสาร

- 5.1 นางสาวปนัดดา อินทร์ดำ (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

บทบรรณาธิการ

วารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร (Journal of Technology and Agricultural Innovation) ฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 3 ฉบับที่ 2 ซึ่งเป็นวารสารที่รวบรวมและเผยแพร่ตีพิมพ์บทความวิชาการ บทความวิจัยที่ผ่านการกลั่นกรองจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางด้านเกษตรของนักวิชาการ นักวิจัยในมหาวิทยาลัยและหน่วยงานต่างๆ ทั้งภายในและภายนอก จำนวน 3 ท่านต่อบทความ และการประเมินบทความแบบดับเบิลบไลนด์ (Double-blind review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) รวบรวมและเผยแพร่องค์ความรู้ 2) เป็นสื่อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และ 3) ส่งเสริมและสนับสนุนการดำเนินการวิจัย หรือประชาสัมพันธ์ข่าวสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางด้านเกษตร

วารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร เป็นวารสารที่รวบรวมและเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการเกี่ยวกับเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการเกษตรต่างๆ มีกำหนดการตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม) ของทุกปี

สำหรับเนื้อหาในวารสารฉบับนี้ มีบทความที่ตีพิมพ์เผยแพร่ จำนวน 7 บทความ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชิงโดยใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานเพื่อลดการเกิดโรคเหี่ยวในจังหวัดเลย การให้แคลเซียมคลอไรด์ทางใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและรักษาคุณภาพมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยว ระดับผลกระทบจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตกในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง การประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองในการป้องกันตลิ่งพังทลาย: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลถ้ำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช การคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จำเพาะต่อคาร์บาริลและไซเพอร์เมทรีนเพื่อการตรวจสอบปริมาณด้วยเทคนิค Electrochemical aptasensor การพัฒนากำลังคนเพื่อศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยวสำหรับการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช การประเมินผลผลิตและผลตอบแทนของการผลิตมันสำปะหลัง ภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ ซึ่งล้วนเป็นบทความที่มีองค์ความรู้ที่น่าสนใจในบริบทที่หลากหลาย

ท้ายสุดนี้ ในนามของบรรณาธิการ และตัวแทนกองบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร ใคร่ขอขอบพระคุณผู้ส่งบทความและเจ้าของบทความที่เป็นส่วนหนึ่งในการสร้างและพัฒนาวารสารและขอเรียนเชิญผู้สนใจส่งบทความเพื่อเผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยทักษิณในฉบับถัดไป

บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

บทความวิจัย

การผลิตชีวโดยใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานเพื่อลดการเกิดโรคเหี่ยว ในจังหวัดเลย

1

เอมอร เพชรทอง รัตติกาล ยุทธศิลป์ วิภารัตน์ ดำริเข้มตระกูล และกมลทิพย์ สังข์แก้ว

การให้แคลเซียมคลอไรด์ทางใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและรักษา คุณภาพมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยว

10

ภาณุมาศ โคตรพงษ์ ทิวาพร ผดุง และสโรชา ถึงสุข

ระดับผลกระทบจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก ในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโย

21

สุรศักดิ์ ชูทอง จำเื่อง เหตุทอง วัฒนา ณ นคร สุวรรณษา ชูเชิด จาริพร เพชรชิต และนริศรา ตูลาธร

การประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองในการป้องกันตลิ่งพังหลาย: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลต้าใหญ่ อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดนครราชสีมา

32

วัฒนา ณ นคร สุรศักดิ์ ชูทอง และสุวรรณษา ชูเชิด

การคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จำเพาะต่อคาร์บาริลและไซเปอร์เมทริน เพื่อการตรวจสอบปริมาณด้วยเทคนิค Electrochemical aptasensor

44

อัจฉราพรรณ ใจเจริญ มัลลิกา ทองเขียว อธิพิณ บั๋งพรม สุภาพร บั๋งพรม
นาตยา จันทร์ส่อง กฤตยา เพชรผึ้ง และศิริวัลย์ สร้อยกล่อม

การพัฒนากำลังคนเพื่อศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยวสำหรับการพัฒนา และฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวอำเภอยางชุมน้อย จังหวัดนครราชสีมา

56

สุรศักดิ์ ชูทอง วัฒนา ณ นคร สุวรรณษา ชูเชิด และจาริพร เพชรชิต

การประเมินผลผลิตและผลตอบแทนของการผลิตมันสำปะหลังภายใต้ระบบ การจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ

68

ฐิติพร มะณีโกวา นิรุจน์ คำจุมพล สุชานันท์ พุทธเจริญผล ดวงกมล เดชดอน
พรอนันต์ เขียมขจรชัย และสุดชล วัณประเสริฐ

การผลิตขิงโดยใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานเพื่อลดการเกิดโรคเหี่ยว ในจังหวัดเลย

Ginger Production with Integrated Technologies to Reduce Bacterial wilt Disease in Loei Province

เอมอร เพชรทอง^{1*} รัตติกาล ยุทธศิลป์¹ วิภารัตน์ ดำริเข็มตระกูล² และกมลทิพย์ สัมชัยแก้ว²

Emorn Pectthong^{1*}, Rutikan Yutthasin¹, Wibharat Damrhikhemtrakool² and Kamontip Sangkaew²

¹ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร จังหวัดขอนแก่น 40000

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเลย กรมวิชาการเกษตร จังหวัดเลย 42000

¹ Office of Agricultural Research and Development Region 3, Department of Agriculture, Khonkaen Province , 40000

² Loei Agricultural Research and Development Center, Department of Agriculture, Loei Province , 42000

* Corresponding author: E-mail: emornu@gmail.com, Tel : 062-6532415

Received: November 20, 2024;

Revised: August 12, 2025;

Accepted: September 11, 2025

การผลิตเชิงโดยใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานเพื่อลดการเกิดโรคเหี่ยว ในจังหวัดเลย

Ginger Production with Integrated Technologies to Reduce Bacterial wilt Disease in Loei Province

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการเกิดโรคเหี่ยวงิง โดยดำเนินการทดสอบในพื้นที่บ้านโป่งกวาง ตำบลโป่งกวาง อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ระหว่างปี 2565–2567 วิธีทดสอบคือเตรียมดินด้วยการอบฆ่าเชื้อ โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย 80 กิโลกรัม ผสมปูนขาว 800 กิโลกรัมต่อไร่ (อัตราส่วน 1:10) หว่านทั่วแปลงแล้วไถกลบ อบอุ่นไว้ไม่น้อยกว่า 3 สัปดาห์ จากนั้นไถเปิดหน้าดินและยกร่องเตรียมปลูก หัวพันธุ์งิงแช่น้ำเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus subtilis* BS-DOA 24 อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที ก่อนปลูกและพ่นเชื้อทุก 30 วันหลังปลูก จุดต้นที่เป็นโรคออกจากแปลง ไรด้วยยูเรียผสมปูนขาวในหลุมอัตราส่วน 80 : 800 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับวิธีเกษตรกรในสภาพแวดล้อมเดียวกัน พบว่าวิธีทดสอบพบการเกิดโรคเหี่ยวงิงร้อยละ 56 ต่ำกว่าวิธีเกษตรกรที่พบการเกิดโรคร้อยละ 94 ผลผลิตของวิธีทดสอบสูงกว่าวิธีเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธีทดสอบมีผลผลิตเฉลี่ย 7,753 กิโลกรัมต่อไร่ และวิธีเกษตรกรมีผลผลิตเฉลี่ย 5,589 กิโลกรัมต่อไร่ ต้นทุนการผลิตวิธีทดสอบลดลงร้อยละ 5 ส่งผลให้รายได้สุทธิเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 45 จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปแนะนำเกษตรกรผู้ปลูกงิงในพื้นที่จังหวัดเลยที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับพื้นที่ทดสอบ เพื่อลดการเกิดโรคเหี่ยวงิงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตงิง

คำสำคัญ: งิง, โรคเหี่ยว, เทคโนโลยีแบบผสมผสาน, ชีวภัณฑ์, การจัดการโรคพืช

Abstract

This research has the objective to reduce of bacterial wilt in ginger (*Zingiber officinale*). Field trials were conducted in Ban Pong Kwang, Pong Kwang Subdistrict, Phu Ruea District, Loei Province, Thailand, from 2022 to 2024. Test method : the soil was sterilized by applying urea at 80 kg/rai mixed with lime at 800 kg/rai (1:10 ratio), broadcast evenly, plowed under, and covered for at least three weeks. The soil was then opened and ridged for planting. Ginger rhizomes were soaked in a suspension of the antagonistic bacterium *Bacillus subtilis* BS-DOA 24 at 50 g per 20 L of water for 30 minutes prior to planting and spray every 30 days after planting. Remove diseased plants from the plot and sprinkle them with urea mixed with lime in the holes at a ratio of 80:800 Kg/rai. This method was compared with conventional farmer practices under similar environmental conditions. Test results found that, Ginger wilt disease was found to occur in 56% of cases in the the test method and 94% in the farmer's method. The average yield of the Test method was 7,753 kg/rai, significantly higher than the 5,589 kg/rai obtained by the farmer's method ($p < 0.05$). Production costs decreased by 5%, resulting in a 45% increase in net income. These results suggest that this integrated approach can be recommended to ginger growers in Loei Province and similar areas to reduce bacterial wilt and improve production efficiency.

Keywords: Ginger, Bacterial wilt, Integrated technology, Biocontrol, Disease management

บทนำ (Introduction)

จึงเป็นพืชล้มลุกที่มีสรรพคุณทั้งเป็นยาสมุนไพรและเป็นอาหารจึงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ เป็นพืชที่ชอบอากาศเย็น ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 500 เมตรขึ้นไป จังหวัดเลยเป็นแหล่งปลูกที่ใหญ่ที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากจังหวัดเลยมีสภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงมีที่ราบเชิงเขาเหมาะกับการปลูกจึงอย่างมาก (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเลย, 2567) โดยพื้นที่ในเขตพื้นที่อำเภอด่านซ้าย อำเภอกู่เรือ และอำเภอนาแห้ว พันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก คือ จึงใหญ่ (จึงหยวก/จึงขาว) โดยฤดูกาลเพาะปลูกอยู่ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม ด้านการเก็บเกี่ยวมีทั้งแบบจึงอ่อน (เก็บเกี่ยวเมื่อจึงมีอายุได้ 4 – 6 เดือน ช่วงเดือนสิงหาคม - กันยายน) และแบบจึงแก่ (เก็บเกี่ยวเมื่อจึงมีอายุ 10 – 12 เดือน ช่วงเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์) (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเลย, 2567) โรคเหี่ยวของจึงเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* จะแสดงอาการใบเหี่ยวม้วนจากต้นถึงปลายยอด โคนต้นและเหง้ามีลักษณะฉ่ำน้ำ เน่าเปื่อย มีกลิ่นเหม็น เมื่อผ่าหัวหรือนำต้นจุ่มน้ำจะมีเมือกข้นสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมันไหลออกมา (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2567) เกษตรกรมีการย้ายพื้นที่ปลูกใหม่ทุกปีเพื่อหลีกเลี่ยงการแพร่ระบาดของโรค จากข้อมูลของจิตอาภา (2563) รายงานว่าการป้องกันกำจัดโรคเหี่ยวที่เกิดจากแบคทีเรียยังไม่มีรายงานการใช้สารเคมีที่ได้ผล แต่พบวิธีการจัดการแปลงปลูกแบบผสมผสานสามารถป้องกันการระบาดของโรคเหี่ยว และสามารถปลูกจึงในพื้นที่เดิมได้ โดยการปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิตจึงตามเทคโนโลยีของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ การใช้หัวพันธุ์จึงปลอดโรค การทำลายเชื้อในดิน และการใช้ *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ BS-DOA 24 ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเหี่ยวจึง

พื้นที่ปลูกจึงในจังหวัดเลย มีพื้นที่ประมาณ 1,040 ไร่ มีเกษตรกรผู้ปลูกจึง 167 ครัวเรือน ปัญหาหลักที่พบในการผลิตจึงในพื้นที่จังหวัดเลยคือ ปัญหาโรคเหี่ยวที่เกิดจากแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเลย, 2567) จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกจึงในพื้นที่บ้านโป่งกวาง อำเภอกู่เรือ จังหวัดเลย จำนวน 50 ครัวเรือน พบว่าปัญหาหลักที่พบในการผลิตจึงคือปัญหาโรคเหี่ยวจึงที่ทำให้ผลผลิตเสียหายมากทุกปี และปัญหาแมลงศัตรูจึง ได้แก่ เพลี้ยหอย เพลี้ยแป้ง หนอนเจาะต้น หนอนเจาะแง่ง ตั๊กแตน เป็นต้น ทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหายและเกษตรกรมีการใช้สารเคมีพ่นในการป้องกันและกำจัด อย่างไรก็ตามในพื้นที่อำเภอกู่เรือยังพบในปริมาณน้อย ส่วนมากเกษตรกรทำการพ่นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูเพื่อป้องกันไว้ในช่วงจึง อายุ 3-6 เดือน กรมวิชาการเกษตรมีเทคโนโลยีด้านการผลิตและการใช้ชีวภัณฑ์แบคทีเรียปฏิบัณธ์ *B. subtilis* สำหรับป้องกันกำจัดโรคเหี่ยวของจึงซึ่งเป็นปัญหาหลักในการปลูกจึง โดยปลูกหัวพันธุ์จึง ด้วยสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ BS-DOA 24 และใช้ราดแปลงปลูกอัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทุกเดือนอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 4 เดือน ชุดต้นที่เป็นโรคออกจากแปลง ไร้อยู่ด้วยวิธีผสมปูนขาวในอัตราส่วน 80:800 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันโรคเหี่ยวจึงที่ปลูกในแปลง สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร ได้วิจัยและพัฒนาชีวภัณฑ์บีเอสแบบพร้อมใช้ BS-DOA 24 ควบคุมโรคเหี่ยวของพืชตระกูลจึงและมะเขือ ซึ่งสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 3 ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต BS-DOA 24 มาผลิตในพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนและนำผลงานวิจัยดังกล่าวมาใช้ในพื้นที่ผลิตจึงภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนจึงดำเนินการทดสอบในแปลงเกษตรกรแต่ละสภาพแวดล้อม เพื่อยืนยันว่าสามารถลดการระบาดของโรคได้จริง หรือนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมสอดคล้องกับสภาพปัญหา และปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีแบบผสมผสานมาใช้ในการผลิตจึงซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาการผลิตจึงที่มีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืนและขยายผลสู่ชุมชนอื่นในพื้นที่ต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (Material and Methodology)

1. การคัดเลือกพื้นที่ดำเนินงานวิจัย

คัดเลือกพื้นที่แหล่งปลูกพืชที่บ้านโป่งกวาง ตำบลปลาบ่า อำเภอกู่เรือ จังหวัดเลย ลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบเชิงเขาเกษตรกรมีการปลูกพืชอย่างต่อเนื่องวิเคราะห์สถานการณ์การผลิตเชิงของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอกู่เรือ จังหวัดเลย ร่วมกับการสัมภาษณ์เพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีป้องกันกำจัดโรคเหี่ยว การใส่ปุ๋ย รวมถึงวิธีการกำจัดแมลงศัตรูพืช เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ปัญหาที่เป็นข้อจำกัดต่อการให้ผลผลิตเชิงในพื้นที่เป้าหมาย

2. การดำเนินการทดสอบ

คัดเลือกแปลงเกษตรกรที่พบปัญหาการระบาดของโรคเหี่ยวเชิง พื้นที่บ้านโป่งกวาง ตำบลปลาบ่า อำเภอกู่เรือ จังหวัดเลย วางแผนดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรจำนวน 10 ราย ได้แก่ 1. นายสมบุญ ศรีบุรินทร์ 2. นายโชค วงศ์ศิริ 3. นายเจษฎา กันยาประสิทธิ์ 4. นางสาววิพร บุตรพรม 5. นางเครือจิต ศรีบุญเรือง 6. นางจำปี เชื้อบุญมี 7. นายทองใบ บุญวิเศษ 8. นางเพลินพิทย์ พรหมวัน 9. นายบุญช่วย เชื้อบุญมี 10. นายอ้าย ศรีบุรินทร์ วางแผนการดำเนินการทดสอบเทคโนโลยีในแปลงเกษตรกร จำนวน 10 ราย ที่พบปัญหาโรคเหี่ยวของเชิง ประกอบด้วย 2 กรรมวิธี 1) กรรมวิธีทดสอบ และ 2) กรรมวิธีเกษตรกร ดำเนินการเดือนมีนาคม 2566 ถึงเดือนมกราคม 2567 ในพื้นที่บ้านโป่งกวาง ตำบลปลาบ่า อำเภอกู่เรือ จังหวัดเลย ทดสอบในแปลงเกษตรกร 10 ราย ๆ ละ 2 แปลง ๆ ละ 400 ตารางเมตร การปลูกเชิงใช้ระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ระยะระหว่างแถว 70 เซนติเมตร (ในพื้นที่ทดสอบมีจำนวนต้น 2,133 ต้น) โดยแบ่งแปลงเป็น แปลงที่ 1 เป็นแปลงทดสอบที่ใช้เทคโนโลยีของกรมวิชาการเกษตรแบบผสมผสานในการป้องกันกำจัดโรคเหี่ยวของเชิง ส่วนแปลงที่ 2 เป็นแปลงที่ทำการป้องกันกำจัดโรคเหี่ยวของเชิงโดยวิธีของเกษตรกรที่ปฏิบัติอยู่เดิม วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน ได้แก่ วัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ หัวพันธุ์เชิง ปุ๋ยเคมี ปูนขาว สารเคมีกำจัดแมลง ชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ BS-DOA 24 และ วัสดุอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ตารางที่ 1 วิธีการจัดการโรคเหี่ยวเชิง

รายการ	วิธีทดสอบ	วิธีเกษตรกร
การจัดการโรคเหี่ยวเชิง	-เตรียมดินด้วยการอบฆ่าเชื้อในดิน โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 80 กิโลกรัม ผสมปูนขาว อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ (อัตราส่วน 1:10) หว่านให้ทั่วแปลงแล้วไถกลบ -เตรียมหัวพันธุ์เชิงโดยแช่ด้วยน้ำเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะ <i>B. subtilis</i> BS-DOA 24 อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร แช่นาน 30 นาที ผึ่งในที่ร่มให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปปลูกและ หลังจากปลูกเชิง พ่นแปลงด้วย <i>B. subtilis</i> BS-DOA 24 อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทุก 30 วัน	จุดต้นที่เป็นโรคออกพร้อมทั้งถอนต้นเชิงที่อยู่โดยรอบต้นที่เป็นโรคออก

3. การบันทึกข้อมูลผลผลิต

เก็บเกี่ยวผลผลิตเชิงเมื่ออายุ 10 - 12 เดือน โดยสุ่มเก็บข้อมูลน้ำหนักหัวสด ในแปลงทดสอบ 10 แปลง และแปลงวิธีเกษตรกร 10 แปลง พื้นที่สุ่ม 8 ตารางเมตร บันทึกข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุน รายได้ รายได้สุทธิ และวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายการลงทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) คำนวณได้จาก $B/C \text{ ratio} = \text{Benefit}/\text{Cost}$ ($B/C > 1$ คຸ້ມค่าการลงทุน, $B/C = 1$ เท่าทุน, $B/C < 1$ ไม่คุ้มทุน ขาดทุน) และการเกิดโรคของเชิงโดยตรวจนับจำนวนต้นที่เกิดโรค (ต้นเชิงที่แสดงอาการใบเหี่ยวม้วนจากต้นถึงปลายยอด โคนต้นและเหง้ามีลักษณะน้ำน้ำ เน่าเปื่อย มีกลิ่นเหม็น) สุ่มนับต้นที่เกิดโรคในพื้นที่ 1 งาน ของแต่ละแปลง

4. การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Paired t-test

ผลและอภิปราย (Result and Discussion)

จากการวิเคราะห์พื้นที่ดำเนินการทดสอบการผลิตเชิงโดยใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานเพื่อลดการเกิดโรคเหี่ยวในจังหวัดเลย ในแปลงเกษตรกรรมจำนวน 10 ราย พื้นที่บ้านโป่งกวาง ตำบลปลาบ่า อำเภอกุเรื่อ จังหวัดเลย พบว่าลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบเชิงเขา เกษตรกรมีการปลูกพืชอย่างต่อเนื่องทุกปี และพบปัญหา บางรายสลับพืชปลูกในพื้นที่ปลูกพืช เพื่อลดการระบาดของโรคเหี่ยวซึ่งเป็นวิธีที่ถูกต้อง ชนิดพืชที่นำมาสลับปลูกในพื้นที่ได้แก่ มันสำปะหลัง วิเคราะห์สถานการณ์การผลิตเชิงของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอกุเรื่อ จังหวัดเลย ร่วมกับการสัมภาษณ์เพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีป้องกันกำจัดโรคเหี่ยว การใส่ปุ๋ย รวมถึงวิธีการกำจัดแมลงศัตรูพืช เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ปัญหาที่เป็นข้อจำกัดต่อการให้ผลผลิตในพื้นที่เป้าหมาย

จากรายงานของเกษตรกรและสหกรณ์จังหวัดเลย พบว่าอำเภอกุเรื่อ อำเภอด่านซ้าย และอำเภอนาแห้ว มีพื้นที่ปลูกพืชมากที่สุดของจังหวัดเลย จึงเลือกพื้นที่บ้านโป่งกวาง ตำบลปลาบ่า อำเภอกุเรื่อ จังหวัดเลย เป็นพื้นที่ทดสอบ เกษตรกรมีการปลูกพืชอย่างต่อเนื่องทุกปีและพบปัญหาโรคเหี่ยว จึงคัดเลือกเกษตรกรร่วมงานทดสอบจำนวน 10 ราย พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลปลาบ่ามีสภาพพื้นที่เป็นภูเขา มีที่ราบเชิงเขาและที่ราบลุ่มเล็กน้อย มีค่าความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเลระหว่าง 500 - 600 เมตร จากผลวิเคราะห์คุณสมบัติดินพบว่าพื้นที่ปลูกพืชของเกษตรกรร่วมงานทดสอบมีค่าเป็นกรดอ่อนโดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 4.9-7.5 ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง กล่าวคือมีอินทรีย์วัตถุ (OM) ร้อยละ 0.78-2.3 มีธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2-422 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 30-383 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากข้อมูลพื้นที่เหมาะสมในการปลูกพืชที่ดีควรมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 500 เมตรขึ้นไป ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินร่วนปนทราย มีอินทรีย์วัตถุสูงพอสมควร การระบายน้ำดี มีความเป็นกรดต่ำประมาณ 6-6.5 หากพบว่าดินเป็นกรดมากให้ใส่ปูนขาวเพื่อปรับสภาพดิน ประมาณ 200-400 กิโลกรัมต่อไร่ จากผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินพื้นที่เป้าหมาย 10 แปลง พบว่าพื้นที่ปลูกพืชของเกษตรกรร่วมงานทดสอบมีความเหมาะสมสำหรับปลูกพืช

ดำเนินการเก็บเกี่ยวผลผลิตเชิงในเดือน มกราคม 2567 ผลการทดสอบพบว่าวิธีทดสอบมีจำนวนต้นที่เกิดโรคเหี่ยวตลอดฤดูปลูกเฉลี่ย 1,185 ต้นต่อพื้นที่ทดสอบ หรือพบการเกิดโรคเหี่ยวคิดเป็นร้อยละ 56 น้ำหนักหัวเชิงเฉลี่ย 622 กรัมต่อหัว (ตารางที่ 2) ให้ผลผลิตเชิงเฉลี่ย 7,753 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 3) ส่วนแปลงปลูกพืชวิธีเกษตรกร พบจำนวนต้นที่เกิดโรคตลอดฤดูปลูกเฉลี่ย 2,010 ต้นต่อพื้นที่ทดสอบ หรือพบการเกิดโรคเหี่ยวคิดเป็นร้อยละ 94 น้ำหนักหัวเชิงเฉลี่ย 588 กรัมต่อหัว (ตารางที่ 1) มีผลผลิตเฉลี่ย 5,589 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 3) ต้นทุนการผลิตของวิธีทดสอบลดลงร้อยละ 5 ส่งผลให้วิธีทดสอบมีรายได้สุทธิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 45 สอดคล้องกับงานวิจัยของบุรณิ พัวงษ์แพทย์ และคณะ (2556) การจัดการโรคเหี่ยวของพืชโดยวิธีผสมผสาน ซึ่งใช้วิธีการใช้แบคทีเรียปฏิปักษ์ *B.subtilis* สายพันธุ์ ดินรากยาสูบ no.4 ที่มีความเข้มข้นประมาณ 108-109 หน่วยโคโลนี/มิลลิลิตร โดยการคลุกหัวพันธุ์พืชก่อนปลูกด้วยผง สำเร็จแบคทีเรียปฏิปักษ์ *B.subtilis* สายพันธุ์ดินรากยาสูบ no.4 สามารถควบคุมโรคเหี่ยวได้ 60% ได้น้ำหนักหัวเชิงเฉลี่ย 625 กรัมต่อหัว และได้ผลผลิต 1,867 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนแปลงปลูกพืชที่ทำการป้องกันกำจัดโรคเหี่ยวของพืชโดยวิธีเกษตรกร พบโรคเหี่ยวมากถึง 90% ได้น้ำหนักหัวเชิงเฉลี่ย 545 กรัมต่อหัว และได้ผลผลิตเพียง 303 กิโลกรัมต่อไร่ และจิตอาภา จิจุบาล และคณะ (2565) ได้ทดสอบการการผลิตเชิงปลอดโรคในสภาพไร่ มีการจัดการดิน โดยใช้ยูเรีย:ปูนขาว อัตรา 80:800 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้แบคทีเรียปฏิปักษ์ *B.subtilis* สายพันธุ์ดินรากยาสูบ no.4 ความเข้มข้น 109 cfu/ มิลลิลิตรแช่หัว พันธุ์พืชก่อนปลูกและรดแปลงปลูกทุกๆ 30 วันสามารถควบคุมโรคเหี่ยวได้ ทั้งนี้กรมวิชาการเกษตร (2563) ได้แนะนำเรื่องการรับมือกับโรคเน่าในพืช โดยการเตรียมดิน โดยไถพรวนดินให้ลึกจากผิวดินมากกว่า 20 เซนติเมตรขึ้นไปและตากดินไว้ให้นานกว่า 2 สัปดาห์จะสามารถช่วยลดปริมาณเชื้อ

ในดินลงได้มาก กรณีในพื้นที่ที่เคยมีการระบาดของโรค ก่อนปลูกให้รมดินเพื่อฆ่าเชื้อโรคด้วยการโรย ยูเรียผสมปูนขาว อัตรา 80:800 กิโลกรัมต่อไร่ จากนั้นให้ไถกลบและรดน้ำให้ดินมีความชื้น ทั้งไ้ ประมาณ 3 สัปดาห์ จึงเริ่มปลูกจึง อีกทั้งให้เลือกใช้หัวพันธุ์ที่มีคุณภาพดีจากแหล่งปลอดโรค หลีกเลียง การปลูกพืชอาศัยของเชื้อ เช่น พืชตระกูลจิง พืชตระกูลมะเขือ มันฝรั่ง พริก และถั่วลิสง รวมถึงควรสลับ เปลี่ยนไปปลูกพืชชนิดอื่นหมุนเวียน เช่น ข้าว ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เพื่อตัดวงจรการระบาดของ โรค ในขณะที่แปลงปลูกจิงเปรียบเทียบกับของเกษตรกรหลายแปลงพบโรคเหี่ยวมากจนไม่สามารถเก็บเกี่ยว เป็นจึงแก้ไขได้เกษตรกรมีการตัดสินใจขายจึงอ่อนเพื่อให้มีรายได้ก่อนจะนำทั้งแปลง

สรุปผล (Conclusion)

- 1. ควรเลือกพื้นที่ปลูกจิงที่ไม่เคยมีการระบาดของโรคเหี่ยวที่เกิดจากแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* มาก่อนและพื้นที่มีการระบายน้ำที่ดี การไถพรวนดินให้ลึกเกินกว่า 20 เซนติเมตรจากผิวดินและตากดิน ให้นานกว่า 2 สัปดาห์ พื้นที่ที่เคยมีการระบาดของโรคสามารถฆ่าเชื้อโรคในดิน โดยใช้ยูเรียผสมปูนขาว อัตรา 80 : 800 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านลงในแปลงหลังไถพรวนดินครั้งแรก จากนั้น ไถกลบและดินต้องมีความชื้น ทั้งไ้ 3-4 สัปดาห์ จึงไถยกร่องปลูก ช่วยลดปริมาณเชื้อสาเหตุโรคเหี่ยวลงได้มาก
- 2. ใช้หัวพันธุ์จิงปลอดโรค และเตรียมหัวพันธุ์จิงสำหรับปลูกด้วยการแช่ด้วยน้ำเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *B. Subtilis* BS-DOA 24 อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร แช่นาน 30 นาที ผึ่งในที่ร่มให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไป ปลูกและ หลังจากปลูกจิงพ่นแปลงด้วย *B. subtilis* BS-DOA 24 อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร พ่นต่อเนื่อง ทุก 30 วัน
- 3. หมั่นตรวจแปลงปลูกอย่างสม่ำเสมอ เมื่อพบต้นที่แสดงอาการของโรค ให้ขุดต้นที่เป็นโรคนำไปทำลาย นอกแปลงปลูกทันที และโรยปูนขาวบริเวณหลุมที่ขุด เพื่อป้องกันการระบาดของโรคในแปลงที่มีการระบาดของโรค หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว นำส่วนต่าง ๆ ของจิงที่เป็นโรคไปทำลายนอกแปลงปลูก

ตารางที่ 2 น้ำหนักเหง้าจิง โรคจิงและร้อยละโรคจิงต่อไร่ ผลการทดสอบด้วยวิธีของกรมวิชาการเกษตรและวิธีของเกษตรกร บ้านโป่งกวาง ตำบลปลาบ่า อำเภอกุเรือ จังหวัดเลย

รายชื่อเกษตรกร	น้ำหนักเหง้าจิง		โรคจิง		ร้อยละโรคจิง/ไร่	
	(g/rhizone)		(plant/test area)			
	DOA	เกษตรกร	DOA	เกษตรกร	DOA	เกษตรกร
1.นางเพลินทิพย์ พรมมาวัน	775	770	975	1,894	46	89
2.นายเจษฎา กันยาประสิทธิ์	675	466	964	2,044	45	96
3.นายบุญช่วย เชื้อบุญมี	786	523	1,066	1,846	50	87
4.นายทองใบ บุญวิเศษ	702	505	1,219	1,863	57	87
5.นายสมบุรณ์ ศรีบุญรินทร์	779	604	1,221	2,122	57	99
6.นายโชค วงศ์ศิริ	800	800	1,256	2,119	59	99
7.นางจำปี เชื้อบุญมี	1,145	789	1,123	2,339	53	110
8.นางสาวรวีพร บุตรพรหม	739	748	1,377	2,025	65	95
9.นายอ้าย ศรีบุญรินทร์	538	498	1,317	2,045	62	96
10.นางเครือจิต ศรีบุญช่วย	507	479	1,336	1,806	63	85
ค่าเฉลี่ย	745	618	1,185	2,010	56	94

ตารางที่ 3 ผลผลิตเชิง ต้นทุนรวม รายได้และผลตอบแทนโดยใช้วิธีของกรมวิชาการเกษตรและวิธีของเกษตรกรบ้านโป่งกวาง ตำบลปลาบ่า อำเภอกู่เรือ จังหวัดเลย

ลำดับ	ผลผลิต (kg./rai)		ต้นทุนรวม (kg./rai)		รายได้ (kg./rai)		รายได้สุทธิ (kg./rai)		BCR	
	DOA	เกษตรกร	DOA	เกษตรกร	DOA	เกษตรกร	DOA	เกษตรกร	DOA	เกษตรกร
1	5,555	3,955	24,623	24,523	77,770	55,370	53,147	30,847	3.16	2.26
2	3,433	2,956	25,300	24,900	48,062	41,384	22,762	16,484	1.90	1.66
3	7,332	5,977	25,300	24,900	102,648	83,678	77,348	58,778	4.06	3.36
4	7,654	4,788	30,000	30,050	107,156	67,032	77,156	36,982	3.57	2.23
5	6,977	5,266	26,515	29,815	97,678	73,724	71,163	43,909	3.68	2.47
6	4,088	2,311	24,040	27,340	57,232	32,354	33,192	5,014	1.38	1.18
7	4,800	3,022	28,140	27,215	67,200	42,308	39,060	15,093	1.39	1.55
8	12,088	11,377	35,370	28,670	169,232	159,278	206,390	188,870	5.84	4.12
9	17,600	12,500	35,370	38,670	246,400	175,000	316,630	211,330	8.95	4.53
10	8,000	3,733	26,040	29,340	112,000	52,262	133,960	45,320	5.14	1.78
ค่าเฉลี่ย	7,753	5,589	28,070	29,542	108,538	78,239	103,081	65,263	3.9	2.5
t-test	4.594**		-2.397*		4.594*		3.670*		3.020*	

** : significant at $P \leq 0.01$, * : significant at $P \leq 0.05$, ns : not significant

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในปีงบประมาณ 2565-2567 การดำเนินโครงการวิจัยเรื่องการผลิตเชิงโดยใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานเพื่อลดการเกิดโรคเหี่ยวในจังหวัดเลย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณคุณกัญญาณี ทองปั้น ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการติดต่อประสานงานกับเกษตรกรในพื้นที่และอำนวยความสะดวกในการเข้าพื้นที่ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากสำนักงานเกษตรอำเภอกู่เรือ เพื่อนร่วมงานทุกคน ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับเกษตรกร หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้สนใจต่อไป

เอกสารอ้างอิง (Reference)

กรมวิชาการเกษตร. (2563, พฤษภาคม). แนะนำรับมือโรคเหี่ยวในเชิง. สำนักงานเลขาธิการกรม
 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. <https://www.doa.go.th/leka/?p=3790>.
 จิตอาภา จิจุบาล. (2563). ปลูกรองข้าวพื้นที่เดิม. หนังสือพิมพ์กสิกร, 93(5), 65-73.
 จิตอาภา จิจุบาล, ไว อินตะแก้ว, ลัดดาวัลย์ อินทร์สังข์ และสนอง จรินทร์. (2565). การทดสอบและการ
 ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตเชิงปลอดโรคในสภาพไร่. ผลิตกรรมการเกษตร, 3(1), 13-23.
 บุรณี พัวพงษ์แพทย์, ณัฐจิมา โหมิตเจริญกุล, ทิพวรรณ กันหาญาติ, รุ่งนภา ทองเครื่อง,
 ลัดดาวัลย์ อินทร์สังข์, จิตอาภา ชมเชย. (2556). “การจัดการโรคเหี่ยวของเชิงที่เกิดจากแบคทีเรีย
Ralstonia solanacearum แบบผสมผสาน, ในรายงานผลงานวิจัยประจำปี 2556. 454-459.
 กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. chrome-extension://
 efaidnbmnnnibpcaajpcgglefindmkaj/https://info.doa.go.th/research/pdf/2556/44_2556.pdf

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. (2567, มิถุนายน). โรคเหี่ยวในพืช. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. https://www.facebook.com/photo.php?fbid=918228328745281&id=196765307558257&set=a.196770887557699&locale=th_TH.
สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเลย. (2567). ข้อมูลทั่วไปและข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเลย ประจำปี 2566. เลข : สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเลย. <https://anyflip.com/akwnn/ltre/>

การให้แคลเซียมคลอไรด์ทางใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและรักษา คุณภาพมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยว

Calcium Chloride Foliar Application Increases Production Efficiency and Maintains the Postharvest Quality of Sweet Tamarind

ภาณุมาศ โคตรพวง^{1*} ทิwaporn ผดุง² และสโรชา ถึงสุข³

Panumas Kotepong^{1*}, Thiwaporn Phadung² and Sarocha Thuengsuk³

¹ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900

² กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900

³ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 กรมวิชาการเกษตร จังหวัดพิษณุโลก 65130

¹ Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

² Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

³ Agricultural Research and Development Regional Office 2, Department of Agriculture, Phitsanulok 65130

* Corresponding author: E-mail: panumas.k@doa.in.th, Tel : 02-579-5582

Received: June 5, 2025;

Revised: July 15, 2025;

Accepted: September 11, 2025

DOI: <https://doi.org/10.55164/jtai.v3i2.1208>

การให้แคลเซียมคลอไรด์ทางใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและรักษา คุณภาพมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยว

Calcium Chloride Foliar Application Increases Production Efficiency and Maintains the Postharvest Quality of Sweet Tamarind

บทคัดย่อ

มะขามหวานประสบปัญหาเชื้อราในฝักหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา จึงทำการศึกษาระยะเวลาการให้แคลเซียมคลอไรด์ทางใบที่เหมาะสมเพื่อลดการเกิดเชื้อราในฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองก่อน และหลังการเก็บเกี่ยว จากการทดลองพบว่า การให้แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ครั้ง ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตทั้งหมดต่อต้น 26.89 กิโลกรัมต่อต้น น้ำหนักฝัก 39.56 กรัม และมีความยาวฝัก 18.16 เซนติเมตร สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ (กรรมวิธีควบคุม) นอกจากนี้ฝักมะขามหวานที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์มีความแน่นเนื้อ และปริมาณแคลเซียมในเปลือกสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ กรดที่ไทเทรตได้และวิตามินซี ไม่แตกต่างกันทางสถิติ หลังจากเก็บรักษาผลผลิตที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า การให้แคลเซียมคลอไรด์จำนวน 3 ครั้ง ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน มีปริมาณเชื้อราต่ำสุด 1.0×10^2 CFU/g ด้านผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ การให้แคลเซียมคลอไรด์จำนวน 3 ครั้ง ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน ให้รายได้สูงสุด 43,024 บาทต่อไร่ และมีกำไรเพิ่มขึ้น 26.22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์ ดังนั้นการให้แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ครั้ง ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตและสามารถลดการสูญเสียคุณภาพของมะขามหวานได้

คำสำคัญ: มะขามหวาน, แคลเซียมคลอไรด์, เชื้อรา, คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

Abstract

Fungal infection is one of the serious problems found in the pod of sweet tamarind which degrades their quality and shelf life. Therefore, this study is aimed to investigate the optimal calcium chloride foliar application reducing fungal infection before and after harvest in the pods of sweet tamarind cv. Si Thong. It was found that sweet tamarind treated with 0.5% calcium chloride three times before harvesting three months had the highest total yield per plant 26.89 kg per plant, pod weight 39.56 g and pod length 18.16 cm. In addition, sweet tamarind treated with calcium chloride had higher firmness and peel calcium content than other treatments. However, the quality of sweet tamarind such as soluble solids, titratable acidity and vitamin C were not statistically different among treatments. After storage at room temperature $30 \pm 2^\circ\text{C}$ for three months, sweet tamarind treated 0.5% calcium chloride three times before harvesting three months had the lowest fungal count of 1.0×10^2 CFU/g. In terms of economic returns, sweet tamarind treated with 0.5% calcium chloride three times before harvesting three months had the highest income of 43,024 baht per rai and profit increased by 26.22% when compared with the other treatment. Therefore, foliar application of 0.5% calcium chloride three times before harvesting three months was highly effective in increasing yield and reducing quality loss of sweet tamarind.

Keywords: Sweet tamarind, Calcium chloride (CaCl_2), Fungi, Postharvest quality

บทนำ (Introduction)

มะขามหวานเพชรบูรณ์ได้ขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์กับกรมทรัพย์สินทางปัญญาเป็นพืชอัตลักษณ์และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้หลักของจังหวัดเพชรบูรณ์ ในปี 2566 จังหวัดเพชรบูรณ์มีพื้นที่ปลูกมะขามหวานจำนวน 81,868 ไร่ ผลผลิตรวม 52,854 ตัน คิดเป็นมูลค่า 3,171.24 ล้านบาท (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์, 2567) มีแหล่งปลูกใหญ่ในอำเภอเมืองเพชรบูรณ์ หล่มสักและหล่มเก่า เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมของดินในการปลูกมะขามหวานมากที่สุด โดยมี 4 สายพันธุ์หลักที่นิยมส่งออก ได้แก่ สีทอง สีชมพู ชันดี และอินทผลัม มะขามหวานเมื่อสุกแก่เปลือกของฝักจะมีลักษณะแห้งกรอบ การเก็บเกี่ยวจึงต้องใช้ความระมัดระวังไม่ให้เปลือกแตก เพราะจะทำให้ง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา โรคเชื้อราในฝักเป็นปัญหาที่เกษตรกรพบได้บ่อยและยากที่จะป้องกันกำจัด ปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดเชื้อราประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก คือ 1) ลักษณะพันธุ์ เช่น พันธุ์ที่มีเนื้อหนา มีความชื้นในฝักและความหวานสูงมักเกิดเชื้อราได้ง่าย 2) สภาพแวดล้อมที่มีความชื้นในอากาศสูงจะทำให้ทำให้เปลือกฝักอ่อนตัวทำให้เชื้อราออกทะลุผ่านเปลือกเข้าทำลายเนื้อในฝักการเกิดเชื้อราของเนื้อในฝักมักเกิดรุนแรงเมื่อมีฝนตก 3) เชื้อสาเหตุของโรค เชื้อราที่พบในฝักมะขามมีหลายชนิด ได้แก่ *Phomopsis* sp., *Aspergillus* sp. และ *Lasiodiplodia* sp. เป็นต้น (จินตนา และ เบญจพร, 2555) เชื้อราแพร่กระจายโดยอาศัยลมและการไหลของสปอร์ไปตามหยดน้ำค้างบนกิ่งไปยังฝักมะขาม เข้าทำลายมะขามทางขั้วผลหรือผ่านทางเปลือกฝักที่แห้งกรอบ พบมากในฝักมะขามหวานระยะสุกใกล้เก็บเกี่ยวมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว นอกจากนี้เชื้อราบางชนิด เช่น *Peatalotiopsis sydowiana* เป็นเชื้อที่อาศัยอยู่ในต้นมะขามหวาน จึงพบได้ทุกระยะตั้งแต่ดอกบานจนฝักสุก จึงเป็นการยากที่จะป้องกันกำจัด โดยการฉีดพ่นด้วยสารเคมี (มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 2557; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559)

ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและในระหว่างการเก็บรักษามะขามหวานเพื่อรอจำหน่าย ดังนั้นการป้องกันเชื้อราในฝักมะขามโดยการทำให้ฝักมะขามหวานมีเปลือกที่แข็งแรงเป็นวิธีหนึ่งที่ลดการเข้าทำลายของเชื้อราได้ ปัจจุบันมีการใช้แคลเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารรองมาช่วยในการลดการสูญเสียคุณภาพผลไม้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากแคลเซียมมีบทบาทสำคัญในโครงสร้างของผนังเซลล์ (cell wall) ในการเชื่อมเพกตินที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ทำให้เซลล์มีความแข็งแรง (Poovaiah & Reddy, 1993) ความเข้มข้นของแคลเซียมในผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพ ผลไม้ที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมต่ำ ผนังเซลล์จะอ่อนแอ สารละลายต่างๆ รั่วไหลสูญเสียออกจากเซลล์ ทำให้เซลล์และเนื้อเยื่อบริเวณนั้นสูญเสียรูปทรง (สุมิตร และ นุจิ, 2557) มักจะเกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยา เชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่ายและมีอายุการเก็บรักษาสั้น (Fallahi et al., 2010) การพ่นแคลเซียมเพื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมแก่ผลเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในไม้ผลหลายชนิด เพื่อช่วยทำให้ผนังเซลล์คงความแข็งแรงและเพิ่มความแข็งแรงของแรงดึงระหว่างเซลล์พืช การให้แคลเซียมกับพืชอาจให้ในรูปเกลือแคลเซียมชนิดต่างๆ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) แคลเซียมแลคเตท ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CaO}_6$) แคลเซียมไนเตรท ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) และแคลเซียมแอสคอร์เบท ($\text{CaC}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_{12}$) เป็นต้น (เฉลิมชัย, 2561) Kaiser et al. (2001) กล่าวว่า การใช้แคลเซียม นอกจากมีผลทำให้เซลล์และผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรงคงความแน่นเนื้อได้ดีแล้ว ยังทำให้เซลล์พืชต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคได้ดีขึ้น การใช้ CaCl_2 มีประสิทธิภาพดีต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Botryodiplodia theobromae* ที่เป็นสาเหตุโรคผลเน่าในผลเงาะหลังการเก็บเกี่ยว หรือการใช้ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ และ CaCl_2 กับผลมะม่วงทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวลดการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Diplodia natalensis* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสและโรคผลเน่า Bender (1998) รายงานว่าการพ่น CaCl_2 ทางใบ ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะ 30 วันก่อนเก็บเกี่ยวช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตและลดการหลุดร่วงของผลมะม่วง ส่งเสริมการเพิ่มคุณภาพผลผลิตในด้านความแน่น

เนื้อผลและป้องกันการสลายตัวของชั้นมิดเดิลลามลลา ช่วยชะลอการสุกแก่ ลดอัตราการหายใจ และการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว Manganaris et al. (2005) รายงานว่า การพ่นแคลเซียมคลอไรด์ อัตรา 4 และ 6 กรัมต่อลิตร ก่อนการเก็บเกี่ยวผลพืชช่วยเพิ่ม ความแน่นเนื้อและลดการเกิดเชื้อราซึ่งเป็นสาเหตุให้ผลพืชเน่าเสีย (brown rot) ในระหว่างการเก็บรักษา สายน้ำผึ้ง เหลาพะวัง และคณะ (2562) รายงานว่า การพ่นแคลเซียมโบรอน (CaB) ในระยะดอกบานและหลังดอกบาน ช่วยเพิ่มน้ำหนักผล ความแน่นเนื้อ และความเข้มของสีผิวในผลพลับพลัมญี่ปุ่น อย่างไรก็ตามมีข้อควรคำนึงถึงในการใช้แคลเซียมคืออย่างไร ให้แคลเซียมเข้าไปในผลได้มากพอ เนื่องจากแคลเซียมจัดอยู่ในกลุ่มเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายในพืชอีกทั้งการพ่นแคลเซียมในไม้ผลแต่ละชนิดยังมีระยะเวลาการฉีดพ่นและความเข้มข้นที่แตกต่างกันซึ่งในมะขามหวานยังไม่มีมีการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นการทดลองนี้จึงศึกษาการให้แคลเซียมทางใบในระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและรักษาคุณภาพมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยว

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (Material and Methodology)

คัดเลือกต้นมะขามหวานพันธุ์สีทองอายุ 10 ปี ที่มีความสมบูรณ์ของต้นและขนาดทรงพุ่มใกล้เคียงกัน จำนวน 30 ต้น ในแปลงปลูกมะขามหวานของวิสาหกิจชุมชนแปรรูปมะขามหวานบ้านโนนเสาธง ตำบลตะบะเขว อำเภอมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ มีการปฏิบัติดูแลรักษาแปลงเป็นไปตามวิธีของเกษตรกร โดยเกษตรกรแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 หลังตัดแต่งกิ่ง ใส่ปุ๋ย 46-0-0 จำนวน 0.8 กิโลกรัมต่อต้น ปุ๋ย 18-46-0 จำนวน 0.4 กิโลกรัมต่อต้น และปุ๋ย 0-0-60 จำนวน 1.0 กิโลกรัมต่อต้น ครั้งที่ 2 หลังจากตัดแต่งกิ่ง ใส่ปุ๋ย 46-0-0 จำนวน 0.6 กิโลกรัมต่อต้น ปุ๋ย 18-46-0 จำนวน 0.25 กิโลกรัมต่อต้น และปุ๋ย 0-0-60 จำนวน 1.2 กิโลกรัมต่อต้นทำการผูกข้อดอกเพื่อกำหนดอายุวันดอกบาน หลังจากนั้นให้แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ด้วยวิธีการพ่นทางใบหลังจากดอกบาน 1 เดือน จำนวน 5 ลิตรต่อต้น วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block (RCB) จำนวน 6 กรรมวิธีๆ ละ 5 ซ้ำๆ ละ 1 ต้น

กรรมวิธีที่ 1 ไม่พ่นสาร

กรรมวิธีที่ 2 พ่นแคลเซียมคลอไรด์ ทุก 1 เดือน (7 ครั้ง)

กรรมวิธีที่ 3 พ่นแคลเซียมคลอไรด์ เดือนเว้นเดือน (5 ครั้ง)

กรรมวิธีที่ 4 พ่นแคลเซียมคลอไรด์ ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือนๆ ละ 1 ครั้ง (3 ครั้ง)

กรรมวิธีที่ 5 พ่นแคลเซียมคลอไรด์ ก่อนเก็บเกี่ยว 2 เดือนๆ ละ 1 ครั้ง (2 ครั้ง)

กรรมวิธีที่ 6 พ่นแคลเซียมคลอไรด์ ก่อนเก็บเกี่ยว 1 เดือนๆ ละ 1 ครั้ง (1 ครั้ง)

เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อมะขามหวานมีสีที่สุกแก่เต็มที่แล้ว นำผลผลิตไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิต่ำ (2 ± 0.5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 เดือน

การบันทึกข้อมูล

1. ปริมาณผลผลิตทั้งหมดต่อต้น (กิโลกรัม), น้ำหนักฝัก (กรัม), ความกว้าง (เซนติเมตร) และความยาวฝัก (เซนติเมตร)

2. คุณภาพมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ ความแน่นเนื้อฝัก (นิวตัน) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (LLOYD instruments., รุ่น LX plus, United Kingdom) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (บริกซ์) ด้วยเครื่อง Digital Refractometer (ATAGO., รุ่น PR-101, Japan) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เปอร์เซ็นต์) และปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ตามวิธีการของ AOAC (2019)

3. การเกิดเชื้อราในฝักมะขามหวาน โดยวิเคราะห์ปริมาณเชื้อราทั้งหมด (CFU/g) ตามวิธีการของ AOAC (2019) ในมะขามหวานวันที่เก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ในสภาพอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิต่ำ

ผลและอภิปราย (Result and Discussion)

1. ปริมาณผลผลิตทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักฝัก ความกว้างฝัก และความยาวฝัก

การให้แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเจริญเติบโตของฝักมะขามหวาน ให้ปริมาณผลผลิตทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักฝักและความยาวฝักแตกต่างกันทางสถิติ โดยมะขามหวานที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ครั้ง ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน ให้ปริมาณผลผลิตทั้งหมดสูงสุด 26.89 กิโลกรัมต่อต้น น้ำหนักฝัก 39.56 กรัม และความยาวฝัก 18.16 เซนติเมตร ส่วนความกว้างฝักมะขามหวานในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยมีความกว้างฝักระหว่าง 2.67-2.90 เซนติเมตร (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับ White and Broadley (2003) ที่รายงานว่า แคลเซียมมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผล โดยทำหน้าที่เสริมสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์ ส่งเสริมกระบวนการแบ่งเซลล์และขยายตัวของผลนอกจากนี้ยังช่วยรักษาความเสถียรของเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane stability) ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของผล

ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิตมะขามหวานที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ระหว่างการเจริญเติบโตของฝัก

กรรมวิธี	ปริมาณผลผลิตทั้งหมด (กก.)	น้ำหนักฝัก (กรัม)	ขนาดฝัก	
			กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)
ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์(กรรมวิธีควบคุม)	20.43 b	27.79 b	2.67	14.06 b
แคลเซียมคลอไรด์ ทุก 1 เดือน (7 ครั้ง)	24.73 b	30.78 b	2.78	15.90 b
แคลเซียมคลอไรด์ เดือนเว้นเดือน (5 ครั้ง)	24.95 b	31.89 b	2.81	16.64 b
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน (3 ครั้ง)	26.89 a	39.56 a	2.90	18.16 a
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 2 เดือน (2 ครั้ง)	24.81 b	31.06 b	2.88	16.54 b
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 เดือน (1 ครั้ง)	23.30 b	28.22 b	2.84	14.22 b
F-test	*	*	ns	*
CV (%)	19.89	16.78	23.57	21.93

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2. คุณภาพมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยว

การให้แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเจริญเติบโตของฝักมะขามหวาน ให้ความแน่นเนื้อแตกต่างกันทางสถิติ โดยมะขามหวานที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์มีความแน่นเนื้อสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ White and Broadley (2003) และ Irfan et al. (2020) ที่พบว่า การให้แคลเซียมคลอไรด์ในผลไม้ เช่น พืชและแอปเปิล สามารถเพิ่มความแน่นของเนื้อผลได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับรายงาน Fallahi et al. (2010) ที่รายงานว่า ผลไม้ที่มีแคลเซียมสูงจะมีความแน่นเนื้อสูงและมีอายุการเก็บรักษานานกว่าผลไม้ที่มีแคลเซียมต่ำ การทดลองนี้ยังพบว่า การให้แคลเซียมคลอไรด์จากความถี่บ่อยขึ้น สามารถช่วยให้ฝักมะขามหวานมีความแน่นเนื้อสูงกว่าการให้สารจำนวนน้อยครั้ง ส่วนคุณภาพผลผลิตหลังเก็บเกี่ยวพบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 45.06-49.26 บริกซ์ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ 1.27-1.50 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณวิตามินซี 5.03-5.64 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณภาพผลผลิตมะขามหวานหลังเก็บเกี่ยวที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ระหว่างการเจริญเติบโตของฝัก

กรรมวิธี	ความแน่น เนื้อ (นิวตัน)	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายน้ำได้ (บริกซ์)	ปริมาณกรดที่ ไทเทรตได้ (เปอร์เซ็นต์)	วิตามินซี (มก./100 กรัม นน. สด)
ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์(กรรมวิธีควบคุม)	15.65 b	47.84	1.49	5.03
แคลเซียมคลอไรด์ ทุก 1 เดือน (7 ครั้ง)	19.22 a	48.26	1.44	5.45
แคลเซียมคลอไรด์ เดือนเว้นเดือน (5 ครั้ง)	18.30 a	46.35	1.40	5.24
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน (3 ครั้ง)	17.54 a	46.20	1.32	5.47
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 2 เดือน (2 ครั้ง)	17.38 a	45.06	1.38	5.59
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 เดือน (1 ครั้ง)	16.29 b	45.96	1.50	5.64
F-test	*	ns	ns	ns
CV (%)	14.56	23.21	21.89	26.43

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ปริมาณแคลเซียมในส่วนต่างๆ ของมะขามหวาน

หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะขามหวานได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในส่วนของเปลือก เนื้อ รก และเมล็ด พบว่ามะขามหวานที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแคลเซียมในเปลือกแตกต่างกันทางสถิติโดยมะขามหวานที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ มีปริมาณแคลเซียมสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้รับสารชัดเจน ส่วนปริมาณแคลเซียมในส่วนของเนื้อ รก และเมล็ด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับ Fallahi et al. (2010) ที่กล่าวว่าแคลเซียมไม่เคลื่อนย้ายในพืช การสะสมแคลเซียมในพืชขึ้นอยู่กับการคายน้ำเป็นหลัก โดยปกติใบเป็นส่วนของพืชที่มีการคายน้ำมากจึงมีแคลเซียมสะสมอยู่มากกว่าผลที่มีการคายน้ำน้อย การฉีดพ่นแคลเซียมให้แก่ผลโดยตรงจึงเป็นวิธีการเพิ่มแคลเซียมที่มีประสิทธิภาพนอกจากนี้ปริมาณแคลเซียมในเปลือกมะขามหวานยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณความแน่นเนื้ออย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณแคลเซียมในส่วนต่างๆ ของฝัคมะขามหวาน

กรรมวิธี	ปริมาณแคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)			
	เปลือก	เนื้อ	รก	เมล็ด
ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์(กรรมวิธีควบคุม)	3.71 c	0.43	0.45	0.58
แคลเซียมคลอไรด์ ทุก 1 เดือน (7 ครั้ง)	4.36 a	0.49	0.54	0.63
แคลเซียมคลอไรด์ เดือนเว้นเดือน (5 ครั้ง)	4.21 a	0.47	0.57	0.62
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน (3 ครั้ง)	4.16 a	0.50	0.49	0.60
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 2 เดือน (2 ครั้ง)	3.88 b	0.43	0.52	0.63
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 เดือน (1 ครั้ง)	3.79 b	0.49	0.53	0.62
F-test	*	ns	ns	ns
CV (%)	13.49	15.95	15.15	16.75

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. ปริมาณเชื้อราทั้งหมดในฝัคมะขามหวาน

หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะขามหวานได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อราในฝัก พบว่ามีปริมาณเชื้อราทั้งหมด <10 cfu/g ในทุกกรรมวิธี จากนั้นทำการเก็บรักษาผลผลิตเป็นเวลานาน 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิต่ำ (2±0.5 องศาเซลเซียส) พบว่าการเก็บรักษาผลผลิตที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณเชื้อราทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติ โดยมะขามหวานที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเชื้อราทั้งหมดน้อยกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ และการให้แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ครั้ง ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน ตรวจพบปริมาณเชื้อราทั้งหมดน้อยที่สุดคือ 1.0x10² cfu/g นอกจากนี้การให้แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเกิดเชื้อราในฝัคมะขามหวานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (2±0.5 องศาเซลเซียส) ได้ (ตารางที่ 4) เนื่องจากแคลเซียมมีบทบาทสำคัญในการเสริมความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช ซึ่งทำให้พืชสามารถต้านทานเชื้อโรคได้ (เฉลิมชัย, 2561) สอดคล้อง กับ Manganaris et al. (2005) ที่พบว่า การพ่นแคลเซียมคลอไรด์ให้แก่พืชสามารถชะลอการเกิดเชื้อรา *Monilinia fructicola* เช่นเดียวกับการพ่นแคลเซียมในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวในมะละกอช่วยลดการความเสียหายของเซลล์จากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ที่เป็นสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสส่งผลให้รอยที่เกิดจากโรคมีขนาดเล็กลง (Mandani et al., 2016)

ตารางที่ 4 ปริมาณเชื้อราทั้งหมด (cfu/g) ในฝัคมะขามหวานหลังเก็บเกี่ยวที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ระหว่างการเจริญเติบโตของฝัก

กรรมวิธี	วันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต	หลังเก็บรักษา 3 เดือน	
		อุณหภูมิห้อง (30±2°C)	อุณหภูมิต่ำ (2±0.5 °C)
ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์(กรรมวิธีควบคุม)	<10 est.	2.6x10 ⁴ a	1.5x10
แคลเซียมคลอไรด์ ทุก 1 เดือน (7 ครั้ง)	<10 est.	1.6x10 ² b	<10 est.
แคลเซียมคลอไรด์ เดือนเว้นเดือน (5 ครั้ง)	<10 est.	1.8x10 ² b	<10 est.
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน (3 ครั้ง)	<10 est.	1.0x10 ² b	<10 est.
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 2 เดือน (2 ครั้ง)	<10 est.	2.6x10 ² b	<10 est.
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 เดือน (1 ครั้ง)	<10 est.	4.2x10 ² b	1.0x10
F-test	ns	*	ns
CV (%)	ns	24.66	ns

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

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

5. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

จากการศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในการให้แคลเซียมคลอไรด์ เพื่อลดการเกิดเชื้อราในฝัคมะขามหวานพันธุ์สีทอง พบว่าการให้แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซนต์ ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ให้สาร โดยการให้แคลเซียมคลอไรด์ทุกเดือน (7 ครั้ง) มีต้นทุนการผลิตทั้งหมดสูงสุด 12,817 บาทต่อไร่ ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์มีต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่ำสุด 5,397 บาทต่อไร่ (ตารางที่ 5) แม้ว่าการให้แคลเซียมคลอไรด์จะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตและการเจริญเติบโตของฝัก พบว่าการให้แคลเซียมคลอไรด์ ในทุกกรรมวิธีให้ปริมาณผลผลิต น้ำหนักฝักและความยาวฝักสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้รับสาร (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณารายได้และผลกำไร พบว่าการให้แคลเซียมคลอไรด์ทุกกรรมวิธีให้ผลตอบแทนมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์ โดยการให้แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซนต์ จำนวน 3 ครั้ง ก่อนการเก็บเกี่ยว 3 เดือน ให้รายได้สูงที่สุด 43,024 บาทต่อไร่ หรือมีรายได้เพิ่มขึ้น 10,336 บาทต่อไร่ คิดเป็น 31.62 เปอร์เซนต์) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์ และมีกำไรมากกว่ากรรมวิธีไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์ 7,156 บาทต่อไร่ คิดเป็น 26.22 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในการให้แคลเซียมคลอไรด์ระหว่างการเจริญเติบโตของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง

กรรมวิธี	ต้นทุน แคลเซียมคลอไรด์ (บาท/ไร่)	ต้นทุนทั้งหมด (บาท/ไร่)	รายได้ (บาท/ไร่)	กำไรสุทธิ (บาท/ไร่)
ไม่ให้แคลเซียมคลอไรด์(กรรมวิธีควบคุม)	0	5,397	32,688	27,291
แคลเซียมคลอไรด์ ทุก 1 เดือน (7 ครั้ง)	7,420	12,817	39,568	26,751
แคลเซียมคลอไรด์ เดือนเว้นเดือน (5 ครั้ง)	5,300	10,697	39,920	29,223
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน (3 ครั้ง)	3,180	8,577	43,024	34,447
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 2 เดือน (2 ครั้ง)	2,120	7,517	39,696	32,179
แคลเซียมคลอไรด์ ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 เดือน (1 ครั้ง)	1,060	6,457	37,280	30,823

สรุปผล (Conclusion)

การพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทางใบความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 ครั้ง อัตรา 20 ลิตรต่อต้น ก่อนการเก็บเกี่ยว มะขามหวานพันธุ์สีทอง 3 เดือน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและรักษาคุณภาพมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยว โดยให้ปริมาณผลผลิตทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักฝัก ความยาวฝักสูงสุดและมีปริมาณการเกิดเชื้อราหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) ต่ำสุด การให้แคลเซียมคลอไรด์ทำให้ฝักมีความแน่นเนื้อและมีการสะสมแคลเซียมในเปลือกสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้รับสาร สามารถชะลอการเกิดเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (2+0.5 องศาเซลเซียส) ได้เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ การให้แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5% จำนวน 3 ครั้ง อัตรา 20 ลิตรต่อต้น ก่อนการเก็บเกี่ยว 3 เดือน ทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้น 10,336 บาทต่อไร่ (31.62 เปอร์เซ็นต์) และมีกำไรมากกว่า 7,156 บาทต่อไร่ (26.22 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ได้รับสาร

เอกสารอ้างอิง (Reference)

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559,พฤศจิกายน). ข่าวเดือนการระบาดศัตรูพืชประจำสัปดาห์ ประจำวันที่ 23 พฤศจิกายน 2559. กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย กรมส่งเสริมการเกษตร. http://www.ppsf.doae.go.th/forecast/2560/noverbem/73_pod_rot.pdf.

จินตนา สันามชัยกุล และ เบญจพร ศรีสุวรรณาศ. (2555). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์การจัดการเชื้อราแบบผสมผสานในสวนมะขามหวานของเกษตรกรเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนมะขามหวาน จังหวัดเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์. ศูนย์ข้อมูลการวิจัย วช.

เฉลิมชัย วงษ์อารี. (2561). การใช้แคลเซียมเพื่อรักษาผลคุณภาพของผลไม้ที่ดีหลังการเก็บเกี่ยว. Postharvest Newsletter. 17(4), 5-7.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. (2557). มะขามหวานจังหวัดเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

สายน้ำผึ้ง เหลาพะวัง, เจนจิรา ชุมภูคำ, อธิยา นะมิกิ, วีระ ศรีเมฆตรง และกฤษฎา กฤษณพุกต์. (2562). ผลของแคลเซียมโบรอนและจิบเบอเรลลิกแอซิดต่อการพัฒนาคุณภาพผลผลิตพลับพลาพันธุ์ฟุย. Thai Journal of Science and Technology. 8(1), 10–19.

สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์. (2567, มกราคม). ข้อมูลผลผลิตมะขามหวานปี 2566. <https://www.dailynews.co.th/news/3122599/>.

สุมิตรา ภู่วโรดม และนุจิรี บุญแปลง. (2557). แคลเซียม: ธาตุอาหารสำคัญในการผลิตผลไม้คุณภาพ. ดินและปุ๋ย. 36(1-4), 13–26.

AOAC. (1990). *Methods of Analysis*. 14th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.

Bender, R. J. (1998). Elevated CO₂ in controlled atmosphere storage and regulation of mango ripening. *Annual Review of Phytopathology*. 7, 97–112.

Fallahi, E., Fallahi, B., Neilsen, G. H., Neilsen, D., and Peryea, F. J. (2010). Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples. *Acta Horticulturae*, 868, 49–59.

Irfan, I., Khan, M. N., Ibrahim, M., Dawood, B. S., and Shah, S. Q. (2020). Effect of foliar application of calcium chloride on yield and quality of apple varieties. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 9(2), 1294–1303.

Kaiser, S. A. K. M., Dhua, R. S., and Banik, A. K. (2001). Effect of pre- and postharvest treatment with calcium compounds on the incidence of postharvest fruit rots of mango. *Mycopathological Research*. 39(2), 91–94.

Madani, B., Mirshekari, A., Sofo, A., and Tengku Muda Mohamed, M. (2016). Preharvest calcium applications improve postharvest quality of papaya fruits (*Carica papaya* L. cv. Eksotika II). *Plant Nutrition*. 39(10), 1483–1492.

Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Mignani, I., Diamantidis, G., and Tzavella-Klonari, K. (2005). The effect of preharvest calcium sprays on quality attributes, physicochemical aspects of cell wall components, and susceptibility to brown rot of peach fruits (*Prunus persica* L. cv. Andross). *Scientia Horticulturae*. 107(1), 43–50.

Poovaiah, B. W., and Reddy, A. S. N. (1993). Calcium and signal transduction in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 12(3), 185–211.

White, P. J., and Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany*. 92(4), 487–511.

ระดับผลกระทบจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก ในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโย

The Severity of Natural Disaster Impacts on Waterfall-Based Tourist Sites in Namtok Yong National Park

สุรศักดิ์ ชูทอง^{1*}, จำเลื่อง เหตุทอง¹, วัฒนา ณ นคร¹, สุวรรณษา ชูเชิด¹, จาริพร เพชรชิต¹ และนริศรา ตุลารักษ์¹
Surasak Choothong^{1*}, Jamluang Hatthong¹, Wattana Na Nakorn¹, Suwansa Chuchert¹,
Jareporn Phetchit¹ and Naritsara Tulathon¹

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (สไใหญ่) จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

¹ Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya (Sai Yai), Nakhon Si Thammarat Province 80110

* Corresponding author: E-mail: Surasak.c@rmutsv.ac.th, Tel : 063-6329449

Received: June 30, 2025;

Revised: October 6, 2025;

Accepted: October 7, 2025

ระดับผลกระทบจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก ในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง

The Severity of Natural Disaster Impacts on Waterfall-Based Tourist Sites in Namtok Yong National Park

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบทางชีวกายภาพและจิตวิทยาจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง จังหวัดนครศรีธรรมราช และเสนอแนวทางการจัดการผลกระทบอย่างยั่งยืน การวิจัยอาศัยการประเมินด้วยประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) ร่วมกับการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา โดยเก็บข้อมูลภาคสนามจากนักท่องเที่ยวจำนวน 400 คน ผ่านวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบสัดส่วน (Proportional Sampling) และการสุ่มตามช่วงเวลา (Time Interval Sampling) ผลการวิจัยพบว่า น้ำตกส่วนใหญ่ (6 จาก 9 แห่ง) ได้รับผลกระทบทางชีวกายภาพในระดับปานกลาง โดยน้ำตกคลองจิมมีค่าผลกระทบเฉลี่ยสูงสุด (3.18 คะแนน) ขณะที่น้ำตกหนานปลิวมีค่าต่ำที่สุด (1.39 คะแนน) ตัวชี้วัดที่แสดงผลกระทบรุนแรงที่สุด ได้แก่ การลื่นของต้นไม้จากพายุฝน (3.52 คะแนน) และการหักล้ม/การตายของต้นไม้ใหญ่ (3.33 คะแนน) สำหรับผลกระทบด้านดินและน้ำ พบการชะล้างหน้าดินและน้ำขุ่นในระดับปานกลาง ส่วนผลกระทบทางจิตวิทยาพบว่า นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ไม่ตระหนักถึงผลกระทบจากภัยธรรมชาติ (ร้อยละ 68.89) แม้ว่าพื้นที่จะมีร่องรอยความเสียหายปรากฏชัดเจน โดยสรุปการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความเปราะบางของระบบนิเวศน้ำตกต่อภัยธรรมชาติ ตลอดจนช่องว่างด้านการรับรู้ของนักท่องเที่ยวนำไปสู่ข้อเสนอเชิงนโยบายในการจัดการแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ เช่น การจำกัดการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างที่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม การจัดทำสื่อเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับภัยธรรมชาติ และการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการทรัพยากรเพื่อเสริมสร้างการท่องเที่ยวเชิงนิเวศที่ยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ: ผลกระทบ, ภัยธรรมชาติ, แหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก, อุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง

Abstract

This research aimed to evaluate the biophysical and psychological impacts of natural disasters on waterfall-based tourist attractions within Namtok Yong National Park, Nakhon Si Thammarat Province, and to propose sustainable management strategies. The study employed Sensory Evaluation combined with descriptive statistical analysis, with field data collected from 400 tourists using proportional sampling and time interval sampling methods. The findings revealed that most waterfalls (6 out of 9) experienced moderate levels of biophysical impact. Khlong Chang Waterfall exhibited the highest average impact score (3.18), whereas Nan Pliew Waterfall had the lowest (1.39). The most severe indicators included tree falls caused by heavy rainfall (3.52) and the collapse or death of large trees (3.33). Soil and water-related impacts, such as soil erosion and turbidity, were observed at moderate levels. In terms of psychological impacts, the majority of tourists (68.89%) showed low awareness of disaster-related effects despite evident signs of environmental damage. Overall, the study highlights the vulnerability of waterfall ecosystems to natural disasters, as well as the gap in tourists' risk perception. Policy recommendations include restricting environmentally disruptive constructions, developing educational materials on natural disaster impacts, and enhancing community participation in resource management. These measures aim to strengthen the foundation for sustainable ecotourism development in the long term.

Keywords: Impact, Natural disasters, Waterfall-based tourist attractions, Namtok Yong National Park

บทนำ (Introduction)

แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติประเภทน้ำตกเป็นทรัพยากรการท่องเที่ยวที่สำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศที่เอื้อต่อการเกิดน้ำตกขนาดใหญ่และมีความสวยงามตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม แหล่งน้ำตกเหล่านี้มักเผชิญกับภัยธรรมชาติ เช่น พายุฝนตกหนัก น้ำป่าไหลหลาก และดินถล่ม ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเสียหายทั้งในเชิงกายภาพและจิตวิทยาต่อแหล่งท่องเที่ยวและนักท่องเที่ยว (Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation [DNP], 2022; Phumsathan, 2020)

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ความถี่และความรุนแรงของภัยธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยที่ประสบกับฝนตกหนักอย่างต่อเนื่องในช่วงฤดูมรสุม ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและโครงสร้างพื้นฐานของแหล่งท่องเที่ยว (Chantarasiri & Rattanachot, 2021) นอกจากนี้ภัยธรรมชาติยังส่งผลต่อการรับรู้ด้านความปลอดภัยและความเชื่อมั่นของนักท่องเที่ยว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการฟื้นฟูและพัฒนาการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน

อุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นหนึ่งในพื้นที่อนุรักษ์ที่มีแหล่งน้ำตกธรรมชาติหลากหลายแห่งและมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศของภูมิภาค อย่างไรก็ตาม แหล่งน้ำตกในพื้นที่นี้มักได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติในหลายด้าน เช่น ความเสียหายต่อเส้นทางเดินป่า สะพาน และสิ่งอำนวยความสะดวก ที่จำเป็นต่อการท่องเที่ยว การพังทลายของพื้นที่และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของน้ำตก ซึ่งกระทบต่อความสวยงามและความปลอดภัย ตลอดจนความรู้สึกไม่มั่นใจของนักท่องเที่ยว ที่อาจนำไปสู่การลดจำนวนผู้มาเยือน ผลกระทบเหล่านี้ไม่เพียงทำให้ศักยภาพด้านการท่องเที่ยวลดลง แต่ยังมีผลต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและการพัฒนาการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนงานวิจัยนี้จึงมุ่งประเมินผลกระทบทางชีวกายภาพและจิตวิทยาจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตกในพื้นที่ดังกล่าว พร้อมทั้งเสนอแนวทางการจัดการผลกระทบที่เหมาะสมและยั่งยืน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (Material and Methodology)

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

1. การศึกษาผลกระทบทางชีวกายภาพ

ดำเนินการโดยกำหนดตัวชี้วัดที่สามารถประเมินด้วยประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) เช่น การมองเห็น การดมกลิ่น และการสัมผัส เพื่อใช้ประเมินผลกระทบทางชีวกายภาพจากภัยธรรมชาติ เช่น ผลกระทบต่อดิน น้ำ สัตว์ป่า พืชพรรณธรรมชาติ และภูมิทัศน์ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและสมการถ่วงน้ำหนัก (weighting score equation) เพื่อกำหนดค่าคะแนนรวมของผลกระทบ

2. การศึกษาผลกระทบทางจิตวิทยา

ศึกษาในพื้นที่น้ำตก จำนวน 9 แห่งภายในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง ได้แก่ น้ำตกโยง น้ำตกปลิว น้ำตกคลองจิ่งน้ำตกหนานปลิว น้ำตกหนานเตย น้ำตกวังปลิง น้ำตกคูหาสวรรค์ น้ำตกหนานตากผ้า และน้ำตกหนานโจน โดยใช้แบบสอบถามกลุ่มตัวอย่างนักท่องเที่ยวรวมจำนวน 400 คน การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบอัตราส่วน (proportional sampling) โดยอิงจากจำนวนผู้มาเยือนแต่ละน้ำตกเมื่อเทียบกับจำนวนผู้มาเยือนรวมของทั้งอุทยาน เพื่อให้การเก็บข้อมูลแสดงสัดส่วนของนักท่องเที่ยวที่แท้จริง น้ำตกที่มีนักท่องเที่ยวจำนวนมากจะได้รับการจัดสรรกลุ่มตัวอย่างมากกว่า ขณะที่น้ำตกที่มีนักท่องเที่ยวน้อยจะได้รับการจัดสรรกลุ่มตัวอย่างในจำนวนน้อยลงตามลำดับ ทั้งนี้ ได้มีการกำหนดจำนวนขั้นต่ำของกลุ่มตัวอย่างในแต่ละแห่ง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ และในขั้นตอนเก็บข้อมูลภาคสนามได้ใช้การสุ่มนักท่องเที่ยวแบบง่าย (simple random sampling) หรือการสุ่มตามช่วงเวลา (time interval sampling) ที่หลากหลายทั้งวันธรรมดาและวันหยุด เพื่อให้ตัวอย่างที่ได้มีความเป็นตัวแทนของนักท่องเที่ยวในสถานะที่แตกต่างกัน

ผลและอภิปราย (Result and Discussion)

1. การประเมินผลกระทบด้านชีวกายภาพจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตกในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง

ผลการศึกษาพบว่า น้ำตกในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยงมีจำนวนทั้งหมด 9 แห่ง โดยพบว่าน้ำตกส่วนใหญ่มี ผลกระทบอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 6 แห่ง ดังนี้ 1) น้ำตกคลองจ้ง ระดับผลกระทบ 3.18 คะแนน 2) น้ำตกวังปลิง ระดับ ผลกระทบ 2.78 คะแนน 3) น้ำตกหนานตากผ้า ระดับผลกระทบ 2.75 คะแนน 4) น้ำตกคูหาสวรรค์ ระดับผลกระทบ 2.67 คะแนน 5) น้ำตกโยง ระดับผลกระทบ 2.60 คะแนน 6) น้ำตกหนานโจน ระดับผลกระทบ 2.53 คะแนน และได้รับผลกระทบ อยู่ในระดับน้อย จำนวน 3 แห่ง ดังนี้ 1) น้ำตกปลิว ระดับผลกระทบ 2.17 คะแนน 2) น้ำตกหนานเตย ระดับผลกระทบ 2.13 คะแนน 3) น้ำตกหนานปลิว ระดับผลกระทบ 1.39 คะแนน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การประเมินผลกระทบจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตกในอุทยานแห่งชาติ น้ำตกโยง

ลำดับ	ชื่อแหล่งน้ำตก	ค่าระดับผลกระทบ (คะแนน)	ระดับผลกระทบ
1	น้ำตกคลองจ้ง	3.18	ปานกลาง
2	น้ำตกวังปลิง	2.78	ปานกลาง
3	น้ำตกหนานตากผ้า	2.75	ปานกลาง
4	น้ำตกคูหาสวรรค์	2.67	ปานกลาง
5	น้ำตกโยง	2.60	ปานกลาง
6	น้ำตกหนานโจน	2.53	ปานกลาง

การประเมินในตัวชี้วัด ผลการศึกษาพบว่า ตัวชี้วัด ที่มีผลกระทบต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก ทุกข้อมีผลกระทบในระดับปานกลาง ผลกระทบด้านดิน คือ 1) การสูญเสียหน้าดิน/การชะล้างพังทลาย จากฝนตกหนักและการใช้พื้นที่ซ้ำซ้อนคะแนนเฉลี่ย 3.04 2)การอัดแน่นของดินเกิดจากกิจกรรมเหยียบย่ำ เดินป่า พักแรม คะแนนเฉลี่ย 3.00 3) ร่องรอยการเกิดดินถล่ม พบในพื้นที่ลาดชันใกล้ทางน้ำ คะแนนเฉลี่ย 2.91 4) ปริมาณขยะและสิ่งแปลกปลอมในดิน ขยะพลาสติก เศษอาหาร คะแนนเฉลี่ย 2.89 5) ขนาดพื้นที่เปิดโล่งไม่มีพืชปกคลุม บริเวณริมน้ำตกและพื้นที่ดินผ่านบ่อย คะแนนเฉลี่ย 2.87 ผลกระทบ ด้านแหล่งน้ำ คือ 1) ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ ส่งผลให้เกิดความขุ่นของน้ำ คะแนนเฉลี่ย 3.00 2) ความขุ่นของน้ำ ทศนิยภาพและคุณภาพน้ำ คะแนนเฉลี่ย 2.96 3) โคลนตม/ทราย/หินโผล่ จากการไหลบ่าของน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้งสลับกัน คะแนนเฉลี่ย 2.93 4) การแตกระแหงของแหล่งน้ำในหน้าแล้ง เกิดในฤดูแล้ง น้ำลดตื้น คะแนนเฉลี่ย 2.90 5) ปริมาณขยะ กิ่งไม้/น้ำมันในน้ำ จากพายุน้ำหลาก คะแนนเฉลี่ย 2.85 6) การปล่อยของเสียลงน้ำ สังเกตจากจุดปิกนิกบางแห่ง คะแนนเฉลี่ย 2.71 ผลกระทบ ด้านสัตว์ป่า คือ 1) การสูญเสียพืชอาหาร/ถิ่นอาศัย พืชอาหารสัตว์บางชนิดถูกเหยียบย่ำ คะแนนเฉลี่ย 2.94 2) การปรากฏตัวของสัตว์ป่า พบร่องรอยสัตว์ลดลงใกล้พื้นที่ท่องเที่ยว คะแนนเฉลี่ย 2.84 3) ความหลากหลายของชนิดสัตว์ จำนวนชนิดลดลงในบริเวณกึ่งคัก คะแนนเฉลี่ย 2.83 4) ความถี่ในการพบเห็น สัตว์ป่า สัตว์เปลี่ยนเส้นทางหากินหลบเสียงคน คะแนนเฉลี่ย 2.79 5) ปริมาณชนิดพันธุ์ต่างถิ่น เช่น หมูป่าใกล้ชุมชน คะแนนเฉลี่ย 2.65 ผลกระทบด้านพืชพรรณธรรมชาติ คือ 1) ไม้ต้นล้มจากภัย ธรรมชาติจากฝนหนักและลมแรง คะแนนเฉลี่ย 3.52 2) ต้นไม้ใหญ่ที่หักล้ม/ตาย พบมากจากพายุ คะแนนเฉลี่ย 3.33 3) ต้นไม้ที่มีบาดแผล/เสียหาย จากลมแรง น้ำหลาก หรือคนสัมผัส คะแนนเฉลี่ย 3.00 4) ความเสียหายของไม้หนุม จากการเข้าใช้พื้นที่หรือดินถล่ม คะแนนเฉลี่ย 2.96 5) ความหนาแน่นของ พืชคลุมดิน ลดลงชัดเจนในพื้นที่ใช้สอยซ้ำ คะแนนเฉลี่ย 2.95 6) ยืนต้นตายจากความแห้งแล้ง พบใน

หน้าแล้งติดกันหลายปี คะแนนเฉลี่ย 2.91 7) ความหลากหลายของพันธุ์พืช บางพื้นที่มีเพียงชนิดเด่น ไม่หลากหลาย คะแนนเฉลี่ย 2.90 8) ปริมาณลูกไม้/กล้าไม้ ถูกเหยียบย่ำหรือไหลไปกับน้ำ คะแนนเฉลี่ย 2.88 9) ชนิดพันธุ์พืชต่างกัน เช่น หญ้าต่างกันแทรกในพื้นที่โล่ง คะแนนเฉลี่ย 2.63 10) การแพร่กระจายของโรคพืช พบเฉพาะในฤดูฝน บางจุดเท่านั้น คะแนนเฉลี่ย 2.49 ผลกระทบด้านภูมิทัศน์โดยรวม คือ 1) การเปลี่ยนสภาพธรรมชาติดั้งเดิม พื้นที่บางส่วนเปลี่ยนแปลงถาวร คะแนนเฉลี่ย 2.97 2) ความงามทางภูมิทัศน์ลดลง จากขยะ ดินถล่ม หรือพืชตาย คะแนนเฉลี่ย 2.93 3) รูปแบบภูมิทัศน์เปลี่ยนแปลง ต้นไม้ล้ม น้ำลด ตะกอนทับถม คะแนนเฉลี่ย 2.88 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ตัวชี้วัดที่มีผลกระทบต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก

ด้านผลกระทบ	ตัวชี้วัด	คะแนนเฉลี่ย	ระดับผลกระทบ	หมายเหตุ
1. ดิน (Soil)	การสูญเสียหน้าดิน/การชะล้างพังทลาย	3.04	ปานกลาง	จากฝนตกหนักและการใช้พื้นที่ซ้ำซ้อน
	การอัดแน่นของดิน	3.00	ปานกลาง	เกิดจากกิจกรรมเหยียบย่ำ เดินป่า พักแรม
	ร่องรอยการเกิดดินถล่ม	2.91	ปานกลาง	พบในพื้นที่ลาดชันใกล้ทางน้ำ
	ปริมาณขยะและสิ่งแปลกปลอมในดิน	2.89	ปานกลาง	ขยะพลาสติก เศษอาหาร
	ขนาดพื้นที่เปิดโล่งไม่มีพืชปกคลุม	2.87	ปานกลาง	บริเวณริมน้ำตกและพื้นที่เดินผ่านบ่อย
2. แหล่งน้ำ (Water)	ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ	3.00	ปานกลาง	ส่งผลให้เกิดความขุ่นของน้ำ
	ความขุ่นของน้ำ	2.96	ปานกลาง	ลดทัศนียภาพและคุณภาพน้ำ
	โคลนตม/ทราย/หินโผล่	2.93	ปานกลาง	จากการไหลบ่าของน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้งสลับกัน
	การแตกระแหงของแหล่งน้ำในหน้าแล้ง	2.90	ปานกลาง	เกิดในฤดูแล้ง น้ำลดตื้น
	ปริมาณขยะ กิ่งไม้/น้ำมันในน้ำ	2.85	ปานกลาง	จากพายุลูกเห็บและน้ำหลาก
	การปล่อยของเสียลงน้ำ	2.71	ปานกลาง	สังเกตจากจุดปศุสัตว์บางแห่ง
3. สัตว์ป่า (Wildlife)	การสูญเสียพืชอาหาร/ถิ่นอาศัย	2.94	ปานกลาง	พืชอาหารสัตว์บางชนิดถูกเหยียบย่ำ
	การปรากฏตัวของสัตว์ป่า	2.84	ปานกลาง	พบร่องรอยสัตว์ลดลงใกล้พื้นที่ท่องเที่ยว
	ความหลากหลายของชนิดสัตว์	2.83	ปานกลาง	จำนวนชนิดลดลงในบริเวณคึกคัก
	ความถี่ในการพบเห็นสัตว์ป่า	2.79	ปานกลาง	สัตว์เปลี่ยนเส้นทางหากินหลบเสียงคน
	ปริมาณชนิดพันธุ์ต่างถิ่น	2.65	ปานกลาง	เช่น หมูป่าใกล้ชุมชน
4. พืชพรรณธรรมชาติ (Vegetation)	ไม้ต้นล้มจากภัยธรรมชาติ	3.52	ปานกลาง	จากฝนหนักและลมแรง
	ต้นไม้ใหญ่ที่หักล้ม/ตาย	3.33	ปานกลาง	พบมากจากพายุ
	ต้นไม้ที่มีบาดแผล/เสียหาย	3.00	ปานกลาง	จากลมแรง น้ำหลาก หรือคนสัมผัส
	ความเสียหายของไม้หนุ่ม	2.96	ปานกลาง	จากการเข้าใช้พื้นที่หรือดินถล่ม
	ความหนาแน่นของพืชคลุมดิน	2.95	ปานกลาง	ลดลงชัดเจนในพื้นที่ใช้สอยซ้ำ
	ยืนต้นตายจากความแห้งแล้ง	2.91	ปานกลาง	พบในหน้าแล้งติดกันหลายปี
	ความหลากหลายของพันธุ์พืช	2.90	ปานกลาง	บางพื้นที่มีเพียงชนิดเด่นไม่หลากหลาย
	ปริมาณลูกไม้/กล้าไม้	2.88	ปานกลาง	ถูกเหยียบย่ำหรือไหลไปกับน้ำ
	ชนิดพันธุ์พืชต่างกัน	2.63	ปานกลาง	เช่น หญ้าต่างกันแทรกในพื้นที่โล่ง
5. ภูมิทัศน์ (Landscape)	การแพร่กระจายของโรคพืช	2.49	ปานกลาง	พบเฉพาะในฤดูฝน บางจุดเท่านั้น
	การเปลี่ยนสภาพธรรมชาติดั้งเดิม	2.97	ปานกลาง	พื้นที่บางส่วนเปลี่ยนแปลงถาวร
	ความงามทางภูมิทัศน์ลดลง	2.93	ปานกลาง	จากขยะ ดินถล่ม หรือพืชตาย
5. ภูมิทัศน์ (Landscape)	รูปแบบภูมิทัศน์เปลี่ยนแปลง	2.88	ปานกลาง	ต้นไม้ล้ม น้ำลด ตะกอนทับถม

2. การรับรู้ผลกระทบทางด้านจิตวิทยาจากภัยธรรมชาติของนักท่องเที่ยว

การศึกษาการรับรู้ผลกระทบทางด้านจิตวิทยาจากภัยธรรมชาติของนักท่องเที่ยวในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง มีความสำคัญต่อการกำหนดแนวทางการบริหารจัดการแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศอย่างยั่งยืน โดยจากแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึกกับนักท่องเที่ยว พบว่า การรับรู้ผลกระทบทางด้านจิตวิทยาจากภัยธรรมชาติของนักท่องเที่ยวในระดับที่แตกต่างกันออกไป

นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ที่เดินทางเข้ามาในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง มีวัตถุประสงค์เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ โดยร้อยละ 67.78 เข้ามาเพื่อพักผ่อนกับครอบครัวหรือกลุ่มเพื่อน รองลงมาร้อยละ 37.44 เพื่อเล่นน้ำหรือชมธรรมชาติของน้ำตก , ร้อยละ 24.00 ถ่ายภาพธรรมชาติ , ร้อยละ 10.00 ศึกษาธรรมชาติ/นิเวศศึกษา และร้อยละ 8.89 ปฏิบัติธรรมหรือแสวงหาความสงบ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 วัตถุประสงค์ของการเดินทางของนักท่องเที่ยว

ลำดับ	วัตถุประสงค์ของการมาเที่ยว	ร้อยละ
1	พักผ่อนกับครอบครัว/กลุ่มเพื่อน	67.78
2	เล่นน้ำหรือชมธรรมชาติของน้ำตก	37.44
3	ถ่ายภาพธรรมชาติ	24.00
4	ศึกษาธรรมชาติ/นิเวศศึกษา	10.00
5	ปฏิบัติธรรมหรือแสวงหาความสงบ	8.89

นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำตกโยงเป็นแหล่งท่องเที่ยวยอดนิยมมากที่สุด โดยร้อยละ 30.52 ของผู้ตอบแบบสอบถามเลือกเดินทางมาที่น้ำตกแห่งนี้ เนื่องจากความสะดวกในการเข้าถึง ทัศนียภาพที่สวยงาม และมีสิ่งอำนวยความสะดวกพร้อมรองรับนักท่องเที่ยว

การรับรู้ผลกระทบจากภัยธรรมชาติ เช่น พายุฝน น้ำป่าไหลหลาก หรือดินถล่ม จะเกิดขึ้นในพื้นที่จริงและมีหลักฐานในระดับกายภาพ เช่น ไม้ใหญ่ล้ม การพังทลายของทางเดิน หรือแหล่งน้ำขุ่นขึ้น แต่ข้อมูลจากนักท่องเที่ยวกลับชี้ให้เห็นว่า ร้อยละ 68.89 ไม่เคยพบเห็นหรือรู้สึกถึงผลกระทบเหล่านี้เลย โดยให้เหตุผลว่าพื้นที่ดูเรียบร้อย หรือไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนมีเพียงร้อยละ 31.11 เคยพบเห็นผลกระทบบางประการ เช่น กิ่งไม้ล้มทางเดิน น้ำตกแห้งในฤดูแล้ง หรือทางเดินถูกกัดเซาะ แต่ผู้ตอบส่วนใหญ่ไม่รู้สึกละเลยสิ่งเหล่านี้รุนแรง หรือมีผลต่อประสบการณ์การท่องเที่ยว การรับรู้ของนักท่องเที่ยวจึงแสดงถึงความคลาดเคลื่อนระหว่างสภาพความเป็นจริงทางชีวกายภาพกับภาพที่ผู้ใช้พื้นที่รับรู้และประเมิน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การรับรู้ของนักท่องเที่ยวต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติ

ลำดับ	การรับรู้ผลกระทบจากภัยธรรมชาติ	ร้อยละ
1	ไม่เคยพบเห็นผลกระทบใด ๆ	68.89
2	เคยพบเห็นผลกระทบบางรูปแบบ	31.11

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดนี้ แสดงให้เห็นว่านักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ยังคงมองว่าแหล่งท่องเที่ยวในอุทยานน้ำตกโยงมีความปลอดภัยและเหมาะแก่การพักผ่อน แม้จะมีภัยธรรมชาติเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว และพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติส่วนใหญ่ยังคงมีขนาดจำกัด (0-5 ไร่) โดยไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์เพื่อการท่องเที่ยว การไม่รับรู้ผลกระทบในระดับบุคคล อาจส่งผลให้ความสนใจต่อการอนุรักษ์ธรรมชาติของนักท่องเที่ยวยังอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้น ควรมีการสร้างความรู้ความตระหนักรู้ผ่านกิจกรรมเสริม เช่น ป้ายเตือนภัยธรรมชาติ การจัดนิทรรศการให้ความรู้ หรือกิจกรรมจิตอาสา เพื่อให้ นักท่องเที่ยวมีบทบาทเชิงบวกต่อการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมร่วมกับภาครัฐและชุมชน

3. แนวทางการจัดการผลกระทบ

ผลจากการศึกษาเชิงกายภาพและเชิงจิตวิทยาสะท้อนให้เห็นว่าแม้แหล่งท่องเที่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงจากภัยธรรมชาติอยู่บ้าง แต่ยังสามารถบริหารจัดการให้คงสภาพเดิมหรือใกล้เคียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนักท่องเที่ยวและนักวิจัยต่างเสนอแนวทางร่วมกัน ดังนี้

3.1 หลีกเลี่ยงการสร้างสิ่งปลูกสร้างเพิ่มเติมในเขตธรรมชาติ ยกเว้นทางเดินเท้าเพื่อลดผลกระทบจากมนุษย์

3.2 ส่งเสริมกิจกรรมอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยวและชุมชนเพื่อมีส่วนร่วมในการดูแลแหล่งน้ำตก

3.3 พัฒนาแหล่งน้ำตกให้เป็นต้นแบบของการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ที่สามารถต้านทานภัยธรรมชาติได้ในระยะยาว

4. ข้อเสนอเชิงนโยบายและการบริหารจัดการ

ผู้วิจัยเสนอแนวทางการบริหารจัดการและการสื่อสารเชิงนิเวศแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

4.1 คิดตั้งป้ายข้อมูลภัยพิบัติในอดีตและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น เช่น บริเวณที่เคยเกิดน้ำป่า ดินถล่ม หรือพื้นที่ฟื้นฟู

4.2 ออกแบบกิจกรรมให้นักท่องเที่ยวได้มีส่วนร่วมในกระบวนการฟื้นฟูธรรมชาติ เช่น กิจกรรม “ปลูกต้นไม้-ตามรอยน้ำหลาก” หรือ “เดินป่าเชิงนิเวศพร้อมมัลลิกูเทศก์”

4.3 เผยแพร่แผนที่ภัยธรรมชาติและจุดเสี่ยงผ่าน QR code หรือแอปพลิเคชันมือถือ เพื่อให้ผู้มาเยือนมีข้อมูลที่อัปเดตและทันเหตุการณ์

4.4 ส่งเสริมการสร้างพื้นที่เรียนรู้แบบมีส่วนร่วม (Interpretive trails) โดยใช้วิธีเล่าเรื่องธรรมชาติ (nature interpretation) เพื่อสร้างความเข้าใจในระบบนิเวศ

จากผลการวิจัยที่ประเมินผลกระทบทางชีวกายภาพของภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตกในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง พบว่าแหล่งท่องเที่ยวส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบในระดับปานกลาง โดยเฉพาะในด้านการล้าของไม้ใหญ่ และการชะล้างหน้าดิน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในฤดูฝน และสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณฝนตกหนัก และสภาพภูมิประเทศแบบลาดชันของพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2566; Zhang et al., 2023) ลักษณะภูมิประเทศของอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง ซึ่งมีภูเขาสลับซับซ้อนและป่าดิบชื้นหนาแน่น ทำให้เมื่อเกิดฝนตกหนักติดต่อกันเป็นเวลานาน ดินจะอุ้มน้ำไว้จนเกิดการถล่ม หรือเกิดการไหลของดินและหิน ส่งผลให้โครงสร้างทางธรรมชาติและสิ่งปลูกสร้างได้รับความเสียหาย เช่น ทางเดินศึกษาธรรมชาติ หรือสะพานไม้ โดยผลกระทบนี้สอดคล้องกับกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (2565) กล่าวว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้ต้องปิดพื้นที่บางส่วนเพื่อฟื้นฟูในช่วงฤดูฝนของทุกปี ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับด้านพืชพรรณ เช่น การล้มตายของต้นไม้ใหญ่และการหักโค่นจากพายุ มีระดับผลกระทบสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tan et al. (2021) ซึ่งระบุว่าพื้นที่ป่าดิบชื้นเขตร้อน มีความเปราะบางต่อการแปรปรวนของสภาพอากาศ โดยเฉพาะพายุเขตร้อนและภาวะฝนตกหนักแบบเฉียบพลันที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพในระบบนิเวศอย่างรวดเร็วและรุนแรง และงานวิจัยของ จุฑามาศ (2564) กล่าวว่า การล้าของไม้ยืนต้นในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติมีแนวโน้มสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีการบุกรุกเพื่อทำเส้นทางหรือแหล่งจอดรถด้านของดินและแหล่งน้ำ พบว่าค่าความชุ่มชื้น ความหนาแน่นของสารแขวนลอย รวมถึงการพังทลายของหน้าดินล้วนอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งอาจเป็นผลจากการเดินทางเข้า - ออกของนักท่องเที่ยวที่มีพฤติกรรมเดินเหยียบในพื้นที่เปราะบาง เช่น ริมน้ำตกหรือแหล่งน้ำขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liddle (2020) กล่าวว่า สภาพดินและน้ำในพื้นที่ธรรมชาติที่มีการใช้ประโยชน์ เพื่อการท่องเที่ยว โดยปราศจากแนวทางควบคุมมักเกิดการย่ำยีและเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในระยะยาว และงานวิจัยของคณะวนศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2565) ที่ศึกษาการพังทลายของดินในแหล่งท่องเที่ยวป่าภาคใต้ และพบว่าเส้นทางท่องเที่ยวที่ไม่ได้มีการปูพื้นหรือจำกัดทางเดิน มีค่าการสูญเสียหน้าดินสูงกว่าพื้นที่ควบคุมถึง 3 เท่า นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนระหว่างผลกระทบทางกายภาพกับระดับการรับรู้ของนักท่องเที่ยวมีแนวโน้มต่ำ โดยนักท่องเที่ยวที่ตอบแบบสอบถามร้อยละ 68 ระบุว่าไม่เคยพบเห็นความเปลี่ยนแปลงจากภัยธรรมชาติเลย ทั้งที่สภาพแวดล้อมในพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวมีการเปลี่ยนแปลง มีร่องรอยของภัยธรรมชาติปรากฏอยู่ในหลายพื้นที่ เช่น การพังทลายของทางเดินหรือการแห้งเหือดของน้ำตกในหน้าแล้ง สถานการณ์นี้สะท้อนถึงข้อจำกัดหรือช่องว่างในการรับรู้ และตระหนักถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในพื้นที่แหล่งท่องเที่ยว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ballantyne and Packer (2022) ที่ระบุว่านักท่องเที่ยวจำนวนมากมองพื้นที่ธรรมชาติเป็นภูมิทัศน์เพื่อพักผ่อนมากกว่าที่จะเข้าใจว่าเป็นระบบนิเวศที่เปราะบางและต้องการการอนุรักษ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (พัชรา พิทักษ์จินดา และคณะ, 2566) พบว่า นักท่องเที่ยวกว่าร้อยละ 70 ที่เข้าชมน้ำตกภาคใต้ไม่มีความรู้เรื่องผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่มีต่อปริมาณน้ำและความถี่ของภัยธรรมชาติ ดังนั้น การสร้างความรู้เชิงนิเวศจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการส่งเสริมพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของนักท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติ นอกจากนี้แนวทางการจัดการที่เสนอในการวิจัย เช่น การจำกัดสิ่งปลูกสร้าง การส่งเสริมกิจกรรมอนุรักษ์ และการจัดกิจกรรมมีส่วนร่วมในรูปแบบ ecotourism นั้น สอดคล้องกับแนวคิด "Nature-Based Solutions" ที่องค์การสหประชาชาติ (UNEP, 2022) ส่งเสริมให้เป็นแนวทางหลักของการจัดการพื้นที่ธรรมชาติในยุคการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

สรุปผล (Conclusion)

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งประเมินระดับผลกระทบของภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก พร้อมทั้งศึกษาพฤติกรรมและการรับรู้ของนักท่องเที่ยว ตลอดจนแนวทางการจัดการและข้อเสนอเชิงนโยบายที่สามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการพื้นที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศได้อย่างยั่งยืน

การประเมินผลกระทบด้านชีวกายภาพจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตก ในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง ผลการประเมินน้ำตกทั้ง 9 แห่งในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง พบว่า น้ำตกส่วนใหญ่ประสบกับผลกระทบในระดับ ปานกลาง จำนวน 6 แห่ง และอีก 3 แห่งอยู่ในระดับ “น้อย” โดยน้ำตกคลองจ้งได้รับผลกระทบเฉลี่ยสูงสุดที่ 3.18 คะแนน ขณะที่น้ำตกหนานปลิวได้รับผลกระทบน้อยที่สุดที่ 1.39 คะแนน ตัวชี้วัดที่มีระดับผลกระทบสูงที่สุด คือ การหักโค่นล้มของไม้ต้นจากพายุและฝนตกหนัก ซึ่งอยู่ในระดับสูง (3.52 คะแนน) รองลงมาคือต้นไม้ใหญ่ที่หักล้มตายถาวร (3.33 คะแนน) ส่วนผลกระทบอื่นๆ ส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง เช่น การชะล้างพังทลายของดิน การเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ และการลดลงของพืชพรรณและสัตว์ป่า โดยภัยธรรมชาติเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างทางกายภาพของแหล่งท่องเที่ยวอย่างต่อเนื่อง ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนหรือช่วงเกิดพายุ

การรับรู้ผลกระทบทางด้านจิตวิทยาจากภัยธรรมชาติของนักท่องเที่ยว นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่เดินทางมายังอุทยานเพื่อการพักผ่อน (67.78%) และเพื่อเล่นน้ำหรือชมธรรมชาติ (37.44%) โดยมีเพียงส่วนน้อยที่มีวัตถุประสงค์ทางการเรียนรู้หรือเชิงอนุรักษ์ เช่น การศึกษาธรรมชาติหรือการปฏิบัติธรรม แม้ว่าพื้นที่หลายแห่งจะแสดงร่องรอยของผลกระทบจากภัยธรรมชาติอย่างชัดเจน แต่ร้อยละ 68.89 ของนักท่องเที่ยวกลับระบุว่า “ไม่เคยพบเห็น” ผลกระทบเหล่านั้นเลย มีเพียงร้อยละ 31.11 ที่กล่าวว่า “เคยพบเห็น” บางรูปแบบ เช่น ทางเดินถูกกัดเซาะ น้ำตกแห้งในหน้าแล้ง หรือกิ่งไม้ล้มกีดขวางทางเดิน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึง ช่องว่างระหว่างสภาพความเป็นจริงในเชิงชีวกายภาพ กับ การรับรู้ของผู้มาใช้บริการจากพื้นที่ การที่นักท่องเที่ยวไม่รู้สึกรับผลกระทบจากภัยธรรมชาติมีความรุนแรง หรือกระทบต่อประสบการณ์การท่องเที่ยว อาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ระดับความใส่ใจและความตระหนักต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติยังอยู่ในระดับต่ำ

แนวทางการจัดการผลกระทบ จากการรวบรวมแนวทางการจัดการที่เสนอ ได้แก่ การหลีกเลี่ยงสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ธรรมชาติยกเว้นที่จำเป็น เช่น ทางเดินไม้ การส่งเสริมกิจกรรมอนุรักษ์และการให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยว การฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ และการพัฒนาแหล่งน้ำตกให้เป็นต้นแบบการท่องเที่ยวเชิงนิเวศที่ยั่งยืนและมีความสามารถในการปรับตัวต่อภัยธรรมชาติ

ข้อเสนอเชิงนโยบาย เพื่อเสริมสร้างการบริหารจัดการพื้นที่คือ ดัดแปลงป้ายข้อมูลเกี่ยวกับภัยพิบัติในอดีตและจุดเสี่ยงต่าง ๆ เพื่อเตือนภัยและให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยว พัฒนาแผนที่ภัยธรรมชาติแบบดิจิทัลที่สามารถเข้าถึงผ่าน QR code หรือแอปพลิเคชันมือถือ จัดกิจกรรมฟื้นฟูร่วมกับนักท่องเที่ยวและชุมชน เช่น ปลูกต้นไม้ตามแนวทางน้ำหลาก หรือเดินป่าศึกษาธรรมชาติพร้อมมัคคุเทศก์ พัฒนาพื้นที่เรียนรู้ธรรมชาติแบบมีส่วนร่วม (interpretive trails) โดยใช้การเล่าเรื่องเชิงนิเวศ เพื่อสร้างความเข้าใจในระบบนิเวศ

แม้แหล่งท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยงได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติหลายประการ แต่ยังสามารถรักษาสภาพแวดล้อมให้คงอยู่ในระดับที่เอื้อต่อการท่องเที่ยวได้ หากมีการบริหารจัดการอย่างเหมาะสม การสร้างความตระหนักรู้ผ่านการให้ข้อมูลที่ชัดเจน และการเปิดโอกาสให้นักท่องเที่ยวมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาพื้นที่ จะช่วยในการเสริมสร้างความยั่งยืนของการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยเรื่อง “ระดับผลกระทบจากภัยธรรมชาติต่อแหล่งท่องเที่ยวประเภทน้ำตกในอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง จังหวัดนครศรีธรรมราช” ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561 ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณสาขาเทคโนโลยีภูมิทัศน์ คณะเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการลงพื้นที่สำรวจตลอดจนเอื้อเฟื้อสถานที่ในการจัดทำรายงานสรุปผลการวิจัย รวมถึงการใช้ห้องปฏิบัติงานของผู้ช่วยนักวิจัย ซึ่งล้วนเป็นส่วนสำคัญที่เอื้ออำนวยให้การดำเนินงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยตระหนักดีว่าผลงานชิ้นนี้อาจยังมีข้อบกพร่องหรือส่วนที่ไม่สมบูรณ์ในบางประการ ซึ่งขออน้อมรับไว้ด้วยความเคารพ หากท่านผู้อ่านมีข้อเสนอแนะหรือคำแนะนำใดๆ ผู้วิจัยยินดีอ้อมรับและถือเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง (Reference)

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2566). สรุปสภาพอากาศประเทศไทย รายปี 2566. กรุงเทพฯ : กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.
- กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2565). รายงานผลกระทบจากภัยธรรมชาติในอุทยานแห่งชาติ ปี 2565. กรุงเทพฯ : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2565). รายงานวิจัยประเมินการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ท่องเที่ยวภาคใต้. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จุฑามาศ ศิริโชติ. (2564). การเปลี่ยนแปลงทางนิเวศวิทยาในพื้นที่ท่องเที่ยวภาคใต้. สิ่งแวดล้อมและการพัฒนา. 17(2), 45–60.
- Ballantyne, R., and Packer, J. (2022). Exploring ecotourism education: The role of environmental interpretation in enhancing visitor experience and conservation awareness. *Journal of Sustainable Tourism*. 30(4), 512–529.

- Chantarasiri, P., and Rattanachot, T. (2021). Natural disaster impacts on eco-tourism resources in southern Thailand. *Thai Journal of Environmental Studies*. 27(2), 45–62.
- Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation (DNP). (2022). Annual report on protected areas and environmental threats. Bangkok : DNP.
- Liddle, M. (2020). *Recreation ecology: The ecological impact of outdoor recreation and ecotourism*. Chapman & Hall.
- Phumsathan, T. (2020). Tourism and disaster management in Thailand's national parks. *Journal of Sustainable Tourism and Environment*. 15(1), 33–47.
- Tan, Y. H., Low, M., and Cheong, D. (2021). Tropical forests and climate-related risks: The role of canopy damage and landslides in ecotourism destinations. *Nature Conservation*. 45(1), 203–219.
- UNEP. (2022). *Nature-based solutions for climate, biodiversity and people*. Nairobi: United Nations.
- Zhang, J., Chen, Y., and Wu, L. (2023). Assessing rainfall-triggered landslides in tropical forest areas: A case from Southeast Asia. *Natural Hazards*. 117(2), 1125–1144.

**การประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองในการป้องกันตลิ่งพังหลาย:
กรณีศึกษาเทศบาลตำบลท่าใหญ่ อำเภอนำหวาด จังหวัดนครศรีธรรมราช**

**Assessment of The Potential of Canal-Side Trees for Bank Erosion
Prevention: A Case Study of Tha Yai Subdistrict Municipality,
Thung Song District, Nakhon Si Thammarat Province**

วัฒนา ณ นคร¹ สุรศักดิ์ ชูทอง^{1*} และสุวรรณา ชูเช็ด¹

Wattana Na Nakhon¹ , Surasak ChooThong^{1*} and Suwansa Chuchert¹

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (สไใหญ่) จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

¹ Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya (Sai Yai), Nakhon Si Thammarat Province 80110

* Corresponding author: E-mail: Surasak.c@rmutsv.ac.th, Tel : 063-6329449

Received: June 30,2025;

Revised: October 2, 2025;

Accepted: October 7, 2025

การประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองในการป้องกันตลิ่งพังทลาย: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลต้าใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

Assessment of The Potential of Canal-Side Trees for Bank Erosion Prevention: A Case Study of Tha Yai Subdistrict Municipality, Thung Song District, Nakhon Si Thammarat Province

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สำรวจชนิดพันธุ์และประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรก ตำบลต้าใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช (2) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นในการป้องกันตลิ่งพังทลาย และ (3) เปรียบเทียบความคิดเห็นของประชาชนต่อศักยภาพของไม้ริมคลอง โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสาน เก็บข้อมูลเชิงกายภาพของไม้ยืนต้นในพื้นที่สำรวจ 10 จุด ด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ และใช้สมการถ่วงน้ำหนักประเมินศักยภาพใน 3 ด้าน ได้แก่ (1) ศักยภาพด้านระบบราก (2) ความทนทานต่อน้ำหลากและการกัดเซาะ และ (3) คุณค่าด้านนิเวศและสังคมวัฒนธรรม พร้อมทั้งเก็บข้อมูลเชิงความคิดเห็นจากครัวเรือนริมคลองจำนวน 63 ครัวเรือนวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน t-test ผลการศึกษาพบว่า ไม้ยืนต้นริมคลองปรากฏเพียง 6 จุดจากทั้งหมด 10 จุด โดยชนิดไม้ที่พบมาก ได้แก่ กระต่อนป่า ยางนา หูกวาง ตะแบก และตีนเป็ด ผลการประเมินศักยภาพโดยอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 3.40$) เช่น ไม้ยืนต้นริมคลองมีความหลากหลายทางชีวภาพและศักยภาพในการป้องกันตลิ่งพังทลายโดยไม้ยืนต้นที่เหมาะสมเป็นไม้พื้นถิ่นที่มีระบบรากหลากหลายและสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพพื้นที่ที่มีน้ำขัง เช่น ต้นสาย จิกนมยาน หว้า ตะแบก นอกจากนี้ประชาชนมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของไม้ยืนต้นในเชิงนิเวศและสังคมวัฒนธรรม ปัจจัยด้านระบบรากและความทนทานต่อน้ำหลากและการกัดเซาะส่งผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

คำสำคัญ: ศักยภาพ, ไม้ยืนต้นริมคลอง, การป้องกันตลิ่งพังทลาย, ทุ่งสง, นครศรีธรรมราช

Abstract

This study aimed to (1) survey tree species and evaluate the potential of riparian trees along the Pak Phraek Canal in Tham Yai Subdistrict, Thung Song District, Nakhon Si Thammarat Province, (2) examine the factors influencing their effectiveness in preventing riverbank erosion, and (3) compare local residents' perceptions of tree potential. A mixed-methods approach was employed. Physical data of riparian trees were collected from 10 systematically sampled sites. Tree potential was assessed using a weighted scoring equation based on three criteria: (1) root system stability, (2) hydrological tolerance and erosion resistance, and (3) ecological and socio-cultural value. In addition, perception data were gathered from 63 canal-side households and analyzed using percentage, mean, standard deviation, and t-test. Results revealed that riparian trees were present in only 6 out of 10 sites. The most common species included *Sandoricum koetjape*, *Dipterocarpus alatus*, *Calophyllum inophyllum*, *Lagerstroemia floribunda*, and *Alstonia scholaris*. The overall potential score was at a moderate level ($\bar{x} = 3.40$), indicating that riparian trees provide both biodiversity value and erosion control capacity. Native species with diverse root systems and tolerance to waterlogged conditions-such as *Hopea odorata*, *Barringtonia acutangula*, *Syzygium cumini*, and *Lagerstroemia* spp. were identified as the most suitable for riverbank stabilization. Local residents demonstrated high awareness and understanding of the ecological and socio-cultural functions of riparian trees. Root architecture and hydrological tolerance were found to significantly influence tree potential ($p \leq 0.01$). The findings highlight the importance of selecting native, root-stable species for sustainable riparian restoration and community-based conservation.

Keywords: Potential, Canal-side trees, Bank erosion prevention, Thung Song, Nakhon Si Thammarat

บทนำ (Introduction)

พื้นที่ริมคลองในเขตเมืองถือเป็นองค์ประกอบทางนิเวศที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง เนื่องจากไม้ยืนต้นที่บริเวณดังกล่าวไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นแนวกันชนตามธรรมชาติ ในการป้องกันการพังทลายของตลิ่งเท่านั้น หากยังมีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นละออง และมลพิษทางอากาศ อีกทั้งยังช่วยลดความร้อนในพื้นที่เขตเมือง เพิ่มปริมาณออกซิเจนในอากาศ สร้างความร่มรื่นและส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชนในภาพรวม (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2561; สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564) นอกจากนี้ไม้ยืนต้นริมคลองยังมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ สร้างภูมิทัศน์ที่สวยงาม และสะท้อนอัตลักษณ์ของพื้นที่ที่มีคลองไหลผ่านอย่างชัดเจน (FAO, 2020)

การขยายตัวของเมืองในช่วงที่ผ่านมา โดยเฉพาะการก่อสร้างอาคาร บ้าน ที่พักอาศัย สิ่งปลูกสร้าง รวมถึงสาธารณูปโภค เช่น ถนน ไฟฟ้า ระบบประปา ได้ส่งผลกระทบต่อดำรงอยู่ของไม้ยืนต้นริมคลอง ทั้งจากการรุกรานแนวคันน้ำ การตัดต้นไม้นานาชนิดด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัย และการดูแลรักษาต้นไม้ที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ไม้ยืนต้นจำนวนมากถูกโค่นทิ้งหรือได้รับความเสียหาย นำไปสู่การสูญเสียพื้นที่สีเขียว ภูมิทัศน์ที่เสื่อมโทรม และความเสียหายต่อระบบนิเวศในวงกว้าง (เทศบาลตำบลลำใหญ่, 2566) เทศบาลตำบลลำใหญ่ อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ เป็นหนึ่งในพื้นที่ตัวอย่างที่มีคลองปากแพรกไหลผ่าน และเคยประสบเหตุอุทกภัยรุนแรงในปี พ.ศ.2560 ซึ่งคล้ายกับหลายพื้นที่ในภาคใต้ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2560) เหตุการณ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของไม้ยืนต้นในฐานะโครงสร้างสีเขียว (Green Infrastructure) ที่ช่วยลดความเสียหายจากภัยธรรมชาติ และชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการฟื้นฟูและจัดการอย่างเป็นระบบ ถึงแม้จะมีงานวิจัยที่ศึกษาบทบาทของไม้ยืนต้นในการอนุรักษ์ดินริมแม่น้ำและแหล่งน้ำธรรมชาติ (พงษ์ศักดิ์ สุขสม และ คำแหง ธรรมชาติ, 2565; ทวีชัย ศรีสวัสดิ์ และ พรพรรณ พงษ์เจริญ, 2564) แต่ส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่หรือพื้นที่ป่าเป็นหลัก ขณะที่คลองในเขตเมืองขนาดเล็ก ซึ่งอยู่ใกล้ชุมชนและมีปัจจัยมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องสูง กลับได้รับการศึกษาอย่างจำกัด นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมาเน้นเพียงการบรรยายเชิงคุณภาพของชนิดไม้หรือบทบาททั่วไปของระบบรากแต่ยังขาดการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงปริมาณ หรือการจัดลำดับความเหมาะสมของพันธุ์ไม้ท้องถิ่น เพื่อประยุกต์ใช้ในเชิงนโยบายระดับท้องถิ่นอย่างชัดเจน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งสำรวจและประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรก ทั้งในด้านชนิดพันธุ์ ความหลากหลาย ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และปัจจัยด้านรากที่ส่งผลกระทบต่อป้องกันตลิ่งพังทลาย เพื่อนำไปสู่แนวทางการจัดการภูมิทัศน์ริมคลองที่เหมาะสมต่อบริบทของเมืองขนาดเล็ก สนับสนุนการพัฒนาเมืองอย่างสมดุลและยั่งยืนในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (Material and Methodology)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) เก็บข้อมูลทั้งเชิงปริมาณ (Quantitative Data) และเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและการประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองในการป้องกันตลิ่งพังทลาย: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลลำใหญ่ อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ ดำเนินการสำรวจต้นไม้นานาชนิดริมคลองที่ไหลผ่านในเขตเทศบาลตำบลลำใหญ่ โดยใช้วิธีการสุ่มแบบเป็นระบบตามระยะห่างที่เท่าเทียมกัน (Systematic Sampling) เพื่อลดอคติในการเลือกพื้นที่สำรวจ และให้จุดสำรวจตัวอย่างกระจายตัวครอบคลุมทั้งสองฝั่งของลำคลองได้จำนวนพื้นที่สำรวจทั้งสิ้น 10 จุด มีขนาดพื้นที่สำรวจในแต่ละจุด กว้าง 50 เมตร ยาว 200 เมตร สำรวจไม้ยืนต้นริมคลองขนาดเส้นรอบวงลำต้นมากกว่า 15 เซนติเมตรขึ้นไป โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การสำรวจภาคสนามเชิงกายภาพของไม้ยืนต้น (Field Botanical Survey) ผู้วิจัยดำเนินการสำรวจแนวริมคลองปากแพรกตลอดระยะทางที่อยู่ในเขตเทศบาล โดยทำการ

- บันทึกชนิดพันธุ์ (Species Identification) ตามหลักอนุกรมวิธานพืช (Taxonomy)
- วัดขนาดทรงต้น (DBH, Crown Width) และระยะห่างจากขอบตลิ่ง
- ประเมินลักษณะระบบราก (Root Architecture) เช่น รากแก้ว รากค้ำยัน รากกระจายผิวดิน
- ถ่ายภาพและบันทึกพิกัด GPS Mapping เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่

ข้อมูลเหล่านี้ถูกจัดทำในรูปแบบ Tree Potential Database เพื่อใช้ประเมินเชิงปริมาณ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและสมการถ่วงน้ำหนัก (Weighting Score Equation) จำแนกศักยภาพออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่

1. ศักยภาพด้านระบบราก (Root Stability)
2. ความทนทานต่อน้ำหลากและการกัดเซาะ (Hydrological Tolerance)
3. คุณค่าด้านนิเวศและสังคมวัฒนธรรม (Ecosystem & Socio-cultural Value)

ข้อมูลลักษณะกายภาพของไม้ยืนต้นแต่ละต้นที่ได้จากการสำรวจ จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินศักยภาพในการป้องกันตลิ่งพัง โดยใช้แนวทางการให้คะแนนเชิงปริมาณตามกรอบตัวชี้วัด 3 ด้าน ได้แก่ (1) ศักยภาพด้านระบบราก (Root Stability) พิจารณาจากลักษณะและการแผ่ขยายของระบบราก เช่น รากแก้ว รากค้ำยัน และความสามารถในการยึดเกาะหน้าดิน (2) ความทนทานต่อน้ำหลากและการกัดเซาะ (Hydrological Tolerance) ซึ่งประเมินจากพฤติกรรมของลำต้นในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำหรือถูกกัดเซาะซ้ำซาก และ (3) คุณค่าด้านนิเวศและสังคมวัฒนธรรม (Ecosystem and Socio-cultural Value) โดยพิจารณาจากบทบาทของต้นไม้ในการให้ร่มเงา การใช้ประโยชน์ของชุมชน หรือคุณค่าทางความเชื่อท้องถิ่นเพื่อให้ผลการประเมินแสดงถึงความสำคัญเชิงหน้าที่ จึงกำหนดค่าน้ำหนัก (Weighting Scores) ให้แต่ละด้าน โดยด้านระบบรากและความทนทานต่อน้ำหลากมีน้ำหนักสูงกว่ามิติด้านคุณค่าทางสังคม โดยกำหนดน้ำหนักเท่ากับ 0.40, 0.40 และ 0.20 ตามลำดับ จากนั้นจึงคำนวณคะแนนรวมของไม้แต่ละต้นด้วยสมการถ่วงน้ำหนัก (Weighting Score Equation) เพื่อแปลงข้อมูลเชิงคุณลักษณะให้เป็นตัวเลขเชิงเปรียบเทียบ จากนั้นจึงจัดระดับศักยภาพเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับสูง ระดับปานกลาง และระดับต่ำ โดยใช้เกณฑ์การแบ่งกลุ่มตามช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ของคะแนนรวม โดยใช้สมการ $(TS) = (RS \times 0.40) + (HT \times 0.40) + (EV \times 0.20)$ แปลผลตามระดับ ($\geq 80\%$ = สูง, $60-79\%$ = ปานกลาง, $< 60\%$ = ต่ำ) คะแนนทั้งหมดจะถูกนำเข้าฐานข้อมูล Tree Potential Database เพื่อใช้ในการจัดอันดับศักยภาพของชนิดไม้ (Ranking) และสนับสนุนการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) ต่อไป

3. การพัฒนาแบบประเมิน สร้างแบบประเมินตามตัวชี้วัด ได้แก่ (1) ศักยภาพด้านระบบราก (2) ความทนทานต่อน้ำหลากและการกัดเซาะ และ (3) คุณค่าด้านนิเวศและสังคมวัฒนธรรม และตรวจสอบความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญด้านพฤกษศาสตร์และวนศาสตร์ก่อนนำไปใช้งานจริง แบบประเมินดังกล่าวได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านในสาขาที่เกี่ยวข้อง ผ่านเกณฑ์ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงก์ (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.70 ได้รับการปรับปรุงถ้อยคำให้กระชับและชัดเจนยิ่งขึ้น ผลการประเมินพบว่าค่าดัชนี IOC อยู่ในช่วง 0.80-1.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ 0.50 จึงถือว่าเครื่องมือมีความเหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลจริงได้ จากนั้นนำแบบสอบถามไปทดลองใช้ (Try-out) กับกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มเป้าหมายจำนวน 30 คน แล้วคำนวณ Cronbach's Alpha หาค่าความเชื่อมั่น

4. การเก็บข้อมูลภาคสนาม ใช้แบบประเมินตามตัวชี้วัด (1) ศักยภาพด้านระบบราก (Root Stability) พิจารณาจากลักษณะและการแผ่ขยายของระบบราก (2) ความทนทานต่อน้ำหลากและการกัดเซาะ และ (3) คุณค่าด้านนิเวศและสังคมวัฒนธรรม ร่วมกับการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของไม้ยืนต้นริมคลอง

5. การศึกษาความคิดเห็นของประชาชน ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ คือ ครั้วเรือนทั้งหมดในพื้นที่เทศบาลตำบลลำใหญ่ จำนวน 5,936 ครั้วเรือน ใน 10 หมู่บ้าน กลุ่มตัวอย่างเป้าหมาย ผู้วิจัยคัดเลือกครั้วเรือนที่ตั้งอยู่ริมคลองปากแพรกตลอดแนว จำนวน 63 ครั้วเรือน เป็นกลุ่มประชากรเป้าหมายเนื่องจากเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากปัญหาดิ่งพังทลาย วิธีการสุ่มจากครั้วเรือนเป้าหมายทั้ง 63 ครั้วเรือน ผู้วิจัยใช้การสุ่มแบบเจาะจงทั้งหมด โดยเก็บข้อมูลจากครั้วเรือนทุกหลังในกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบสอบถาม 4 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลทั่วไป 2) การใช้ประโยชน์จากไม้ยืนต้นริมคลอง 3) ศักยภาพของไม้ยืนต้น และ 4) ข้อเสนอแนะ โดยแบบสอบถามมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha) เท่ากับ 0.87 แสดงถึงความเชื่อถือได้ในระดับสูง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และ สถิติเชิงอ้างอิง (Inferential Statistics) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อแสดงลักษณะประชากรของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ จำนวนสมาชิกในครั้วเรือน และการใช้ประโยชน์จากไม้ยืนต้นริมคลอง

2. สถิติเชิงอ้างอิง (One-sample t-test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของประชาชนต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกเพื่อการป้องกันตลิ่งพังทลาย กับค่ามาตรฐาน (Test Value) ที่กำหนดไว้ ไม่สูงกว่า 3.40 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ในการประเมินความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างต่อปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลาย ผู้วิจัยได้ใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) โดยให้ความหมายของคะแนนแต่ละระดับดังนี้ 5 = มากที่สุด, 4 = มาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย, 1 = น้อยที่สุด และกำหนดเกณฑ์การแปลผลคะแนนเฉลี่ยเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 4.51-5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด, ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.51-4.50 หมายถึง ระดับมาก, ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2.51-3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง, ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.51-2.50 หมายถึง ระดับน้อย, ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.00-1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

7. การสังเคราะห์ข้อเสนอแนะและการถ่ายทอดองค์ความรู้ ภายหลังจากการวิเคราะห์ผลการประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลอง ผู้วิจัยดำเนินการสังเคราะห์ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติการเพื่อจัดทำแนวทางการจัดการและอนุรักษ์ไม้ยืนต้นริมคลองอย่างเป็นระบบ โดยอ้างอิงหลักการจัดการรุกขชาติ (Arboricultural Management) และหลักการฟื้นฟูระบบนิเวศริมลำธาร (Riparian Restoration) ประกอบด้วยแนวทางการปลูกทดแทน (Tree Replacement Planning) การดูแลรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) และการเฝ้าระวังความเสี่ยงจากการหักโค่นหรือล้มพังเพื่อให้แนวทางดังกล่าวสามารถนำไปสู่การปฏิบัติได้จริง จึงมีการจัดทำสื่อเผยแพร่ความรู้ผ่านเทศบาลตำบลลำใหญ่ พร้อมทั้งจัดกิจกรรมให้ความรู้ร่วมกับชุมชน เพื่อสร้างความตระหนักรู้ถึงบทบาทของไม้ยืนต้นในการป้องกันตลิ่งพังทลาย โดยเปิดโอกาสให้ประชาชนมีส่วนร่วมตั้งแต่การให้ข้อมูล การเสนอความคิดเห็น ไปจนถึงการร่วมปลูกและดูแลรักษาไม้ตามแนวริมคลอง นำไปสู่การฟื้นฟูระบบนิเวศอย่างยั่งยืนในระยะยาว

ผลและอภิปราย (Result and Discussion)

1. การสำรวจและประเมินศักยภาพไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลาย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลการศึกษา การสำรวจไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลาย ทั้ง 10 จุด พบว่า ปรากฏชนิดไม้ยืนต้นริมคลองมีเพียงแค่ 6 จุดเท่านั้น ไม้ริมตลิ่งที่พบมากที่สุด ได้แก่ กระท่อนป่า ยางนา สาย หูกวาง ตะแบก ตีนเป็ด ซึ่งลักษณะของไม้ริมคลองที่พบ มีทั้งไม้ท้องถิ่นและไม้ที่ประชาชนริมคลองนำมาปลูกเพื่อป้องกันตลิ่งพังทลาย (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การสำรวจไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลาย

ลำดับ	ชนิด	จำนวน (ต้น)	DBH (ซม.)	ความสูง (ม.)	รัศมี (ม.)
จุดที่ 1 ต้นสาหร่ายน้ำตกปลิว					
1.1	สาย	1	140	8	3
1.2	บุนนาค	1	98	6	2
จุดที่ 2 เชื้อนปากแพรก					
2.1	ทุ้งฟ้า	15	55	4	2
จุดที่ 3 ร้านส้มตำ					
3.1	จิกนมยาน	1	65	6	3
3.2	ลำแพน	1	75	6	3
3.3	ส้าน	1	89	6	3
3.4	ตีนเป็ด	1	104	8	4
3.5	พลับพลา	1	56	6	3
3.6	หว้า	1	78	6	3
3.7	ตะขบ	1	43	4	2
3.8	แซะ	2	88	8	4
3.9	เมฆา	1	65	6	3
จุดที่ 4 บ้านน้ำรอบ					
4.1	หูกวาง	1	120	10	5
4.2	กระท้อนป่า	1	160	12	6
จุดที่ 5 คอสะพานถนนสาย 41			ไม่พบไม้ยืนต้นริมคลอง		
จุดที่ 6 คอสะพานถนนสวนทุเรียน			ไม่พบไม้ยืนต้นริมคลอง		
จุดที่ 7 วัดลำใหญ่			ไม่พบไม้ยืนต้นริมคลอง		
จุดที่ 8 โรงไม้หินศิลาทราย					
8.1	ตะแบก	3	108	8	4
8.2	มะเดื่อชุมพร	2	85	6	3
8.3	สัก	5	87	8	4
8.4	ยางนา	2	150	12	6
8.5	กระท่อมขี้หมู	6	65	8	4
จุดที่ 9 ห้วยน้ำดำ			ไม่พบไม้ยืนต้นริมคลอง		
จุดที่ 10 สะพานตัดตำบลลำใหญ่-ตำบลชะมาย ทางออกบรรจบสาย 403					
10.1	มะเดื่อชุมพร	1	89	6	3
10.2	คล้าย	1	68	8	4

การประเมินศักยภาพไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลายปรากฏไม้ยืนต้นริมคลองเพียงแค่ 6 จุดเท่านั้น โดยคะแนนการประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองในการป้องกันตลิ่งพังทลายตลอดเส้นทาง มีค่าเฉลี่ย 3.40 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับปานกลาง โดยบริเวณที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือจุดที่ 3 หลังร้านส้มตำทางขึ้นน้ำตกปลิว ค่าเฉลี่ย 4.26 รองลงมาคือ ต้นสาหร่ายน้ำตกปลิว มีค่าเฉลี่ย 3.84 และ จุดที่ 8 หน้าโรงไม้ศิลาทราย มีค่าเฉลี่ย 3.68 ทั้ง 3 จุดมี ถือว่ามีศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองอยู่ในระดับสูง

สำหรับการประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรก ซึ่งพิจารณาจาก 3 ด้าน ได้แก่ ด้านระบบราก ด้านความทนทานต่อน้ำหลากและการกัดเซาะ และด้านคุณค่าทางนิเวศและสังคมวัฒนธรรม พบว่าพรรณไม้บางกลุ่มมีศักยภาพโดดเด่นชัดเจน โดยเฉพาะไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่ไม่ผลัดใบหรือผลัดใบน้อย รวมถึงไม้ที่ให้ร่มเงา มีเรือนยอดหนาที่ช่วยสร้างความร่มรื่นและคงความเขียวชอุ่มตลอดปี ซึ่งได้รับคะแนนประเมินสูงสุดอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าไม้ประเภทนี้เป็นที่ยอมรับทั้งในเชิงโครงสร้างทางนิเวศและในมิติของการใช้ประโยชน์จากประชาชนในพื้นที่

รองลงมาคือไม้ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำขังหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 3.70 จัดอยู่ในระดับมากแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของไม้กลุ่มนี้ต่อบริบทของพื้นที่ริมน้ำที่มีความผันผวนของระดับน้ำตามฤดูกาล ขณะเดียวกันยังพบว่าไม้ตัวชีวิตที่อยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่าเฉลี่ย 3.50 ได้แก่ ไม้ยืนต้นที่มีศักยภาพในการขยายพันธุ์ได้ง่าย เช่น มิกลาไม้หรือลูกไม้ที่สามารถแพร่กระจายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สนับสนุนกระบวนการฟื้นฟูระบบนิเวศริมตลิ่งอย่างยั่งยืน รวมถึงไม้ที่มีดอกสวยงามและออกดอกตลอดปี ซึ่งไม่โดดเด่นในเชิงโครงสร้างทางนิเวศเท่ากับกลุ่มแรกๆ แต่มีบทบาทสำคัญในด้านภูมิทัศน์และคุณค่าทางสังคมวัฒนธรรมของชุมชน

จากการวิเคราะห์ภาพรวมจากการสำรวจและประเมินจากผู้เชี่ยวชาญสามารถระบุพรรณไม้ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในพื้นที่เสี่ยงภัยริมคลองโดยควรเลือกใช้ไม้ถิ่นเดิมที่มีความสัมพันธ์กับระบบนิเวศท้องถิ่นอยู่แล้ว เช่น ต้นสาข จิกนมยาน หว้า ตะขบ มะเดื่อชุมพร คล้าย กระต้อมขี้หมู และตะแบก ซึ่งไม้เหล่านี้มีความสามารถในการยึดเกาะดินและลดการพังทลายของตลิ่ง แต่ยังช่วยสร้างร่มเงา เพิ่มทัศนียภาพที่ร่มรื่น และส่งเสริมให้พื้นที่ริมคลองยังคงมีชีวิตชีวาทั้งในด้านของธรรมชาติและวัฒนธรรมท้องถิ่นอย่างกลมกลืน

2. ความคิดเห็นของประชาชนต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลาย

2.1 ข้อมูลทั่วไปของประชาชน กลุ่มตัวอย่างมากกว่าครึ่งเป็นเพศหญิง ร้อยละ 61.90 เพศชาย ร้อยละ 38.10 มีอายุเฉลี่ย 51.14 ปี การศึกษาในระดับประถมศึกษา ร้อยละ 60.30 รองลงมาคือระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ร้อยละ 34.90 และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี ร้อยละ 4.80 มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4.09 คน ส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 93.70 ขณะที่ผู้ที่ยังโสด มีสัดส่วนร้อยละ 4.80 และผู้ที่หม้าย หย่าร้าง หรือแยกกัน ร้อยละ 1.60 ประกอบอาชีพหลักคือ เกษตรกร ร้อยละ 58.70 รองลงมาคืออาชีพรับจ้างทั่วไป ร้อยละ 19.00 อาชีพค้าขายหรือประกอบธุรกิจส่วนตัว ร้อยละ 17.50 และมีเพียงร้อยละ 4.80 ที่ประกอบอาชีพเป็นพนักงานบริษัทเอกชน

2.2 การใช้ประโยชน์จากไม้ยืนต้นริมคลอง ประชาชนร้อยละ 100.00 รู้จักไม้ยืนต้นริมคลองอย่างชัดเจน และสามารถระบุชื่อพันธุ์ที่อยู่บริเวณริมคลองที่ตนเองอาศัยได้ แสดงให้เห็นถึง ระดับการรับรู้และความคุ้นเคยของชุมชนต่อทรัพยากรไม้ยืนต้นริมคลองว่าอยู่ในระดับสูงมาก โดยเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากคำตอบปลายเปิด พบว่า ประชาชนสามารถระบุชื่อไม้ยืนต้นได้มากกว่าหนึ่งชนิดต่อคน ส่งผลให้มีรายการคำตอบรวมทั้งสิ้น 845 รายการ เมื่อจำแนกตามความถี่ของการตอบชนิดต้นไม้ พบว่า ไม้ที่ได้รับการระบุชื่อมากที่สุด ได้แก่ หูกวาง โพธิ์ ไทร และมะขาม ซึ่งแต่ละชนิดมีสัดส่วนของการรู้จักประมาณ ร้อยละ 7.60 แสดงให้เห็นว่าไม้กลุ่มนี้เป็นไม้ที่มีการพบเห็นบ่อยและมีบทบาทในภูมิทัศน์ริมคลองอย่างชัดเจน

รองลงมา คือ ตะแบก และจามจุรี ซึ่งมีสัดส่วนของการรู้จัก ร้อยละ 7.00 ขณะที่ประดู่ พญาสัตบรรณ สัก และยางนา จัดอยู่ในกลุ่มที่มีการรู้จักในระดับปานกลาง โดยอยู่ในช่วง ร้อยละ 4.80-6.00 นอกจากนี้ยังพบว่า ไม้บางชนิดได้รับการระบุชื่อในสัดส่วนที่ต่ำกว่า เช่น บุนนาค ส้าน และแซะ ซึ่งมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 1.10-1.50 เท่านั้น ซึ่งสรุปได้ว่าประชาชนมีความคุ้นเคยกับไม้ยืนต้นที่มักพบเห็นในพื้นที่สาธารณะหรือเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตประจำวัน ในขณะที่ไม้บางชนิดซึ่งอาจมีลักษณะเฉพาะถิ่นหรือพบเห็นไม่บ่อยนัก ได้รับการจดจำในระดับที่ต่ำกว่าทั้งนี้ความหลากหลายของชนิดไม้ที่ปรากฏในผลสำรวจแสดงให้เห็นถึง

ความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรชีวภาพริมคลอง ซึ่งถือเป็นฐานสำคัญสำหรับการวางแผนอนุรักษ์และฟื้นฟูระบบนิเวศในระยะต่อไป

ประชาชนรับรู้ถึงประโยชน์จากไม้ยืนต้นริมคลอง คือ ป้องกันตลิ่งพังทลาย ร้อยละ 26.20 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม้ยืนต้นริมคลองมีบทบาทสำคัญในการรักษาเสถียรภาพของตลิ่ง โดยช่วยยึดเกาะหน้าดิน และลดความรุนแรงของการกัดเซาะจากกระแสน้ำ เพิ่มออกซิเจนในอากาศ ร้อยละ 19.80 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม้ยืนต้นริมคลองมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมคุณภาพอากาศ และสุขภาพของชุมชนริมคลอง เพิ่มออกซิเจนในอากาศ ร้อยละ 19.80 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม้ยืนต้นมีประโยชน์ด้านคุณภาพอากาศและสุขภาพของชุมชนบริเวณริมคลอง เป็นแนวป้องกันฝุ่นละอองและมลพิษ ร้อยละ 10.30 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม้ยืนต้นริมคลองมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวม และช่วยลดระดับมลพิษทางอากาศในพื้นที่ชุมชนผ่านกระบวนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นละออง และสารมลพิษอื่นๆ เป็นร่มเงา ให้ความร่มรื่น และเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ ไม้ยืนต้นริมคลองมีบทบาทในเชิงสุนทรียภาพและการสร้างบรรยากาศที่ดีให้กับพื้นที่ นอกจากนี้ ไม้ยืนต้นริมคลองยังมีประโยชน์ในด้านการปกปิดทัศนียภาพที่ไม่น่าดู การตกแต่งภูมิทัศน์ให้สวยงาม และส่งเสริมบรรยากาศที่เหมาะสมต่อการท่องเที่ยว แม้จะเป็นประโยชน์ที่ได้รับการกล่าวถึงน้อยกว่าประโยชน์หลักอื่น ๆ แต่ถือเป็นข้อดีที่ช่วยเพิ่มมูลค่าและฟังก์ชันของพื้นที่ริมน้ำ ในแง่ภูมิทัศน์และเศรษฐกิจ ข้อมูลจากการสำรวจแสดงให้เห็นว่า ไม้ยืนต้นริมคลองไม่ได้มีบทบาทเพียงแค่การเป็นส่วนประกอบของระบบนิเวศเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญในด้านการป้องกันและฟื้นฟูตลิ่ง การส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และการสร้างบรรยากาศที่ดีแก่ชุมชน ทั้งนี้ การรู้จักและใช้ประโยชน์จากไม้ยืนต้นริมคลองในลักษณะต่างๆ ยังสะท้อนถึงความเข้าใจ และการตระหนักรู้ของชุมชนต่อคุณค่าทางธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ริมน้ำอีกด้วย

2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรงในการป้องกันตลิ่งพังทลาย ประชาชนมีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรงในการป้องกันตลิ่งพังทลายอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยในภาพรวม 4.15 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.76 เมื่อพิจารณาเป็นรายปัจจัยพบว่า ประชาชนให้ความสำคัญในระดับมากกับไม้ยืนต้นที่มีระบบรากหลากหลาย ทั้งรากแก้ว รากแขนง รากฝอย รากค้ำจุน รากหายใจ ซึ่งช่วยในการดูดซับน้ำและพยุงลำต้น (ค่าเฉลี่ย 4.35) รองลงมา คือ ไม้ยืนต้นที่ให้ร่มเงา มีความร่มรื่น และมีใบเขียวตลอดปี (ค่าเฉลี่ย 4.32) ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่ไม่ผลัดใบหรือผลัดใบน้อย (ค่าเฉลี่ย 4.28) ไม้ยืนต้นที่ทนต่อสภาพน้ำขังหรือสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีน้ำ (ค่าเฉลี่ย 4.24) ไม้ยืนต้นที่มีลำต้นแข็งแรงสามารถดักจับเศษวัสดุจำพวกกิ่งไม้ ใบไม้ในช่วงฤดูน้ำหลาก และทนต่อการย่อยสลายในน้ำได้ดี (ค่าเฉลี่ย 4.18) ไม้ยืนต้นที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายตัวได้ดี ไม่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำ (ค่าเฉลี่ย 4.15) มีไม้ยืนต้นเป็นถิ่นอาศัยของสัตว์น้ำและสัตว์บนบกในบริเวณลำคลอง (ค่าเฉลี่ย 4.10) ไม้ยืนต้นที่ทนต่อการหักล้มของการชะล้างของน้ำ (ค่าเฉลี่ย 4.08) ไม้ยืนต้นที่มีผลสุกสวยงามหรือเป็นอาหารของสัตว์น้ำและสัตว์บนบกส่งเสริมระบบนิเวศ (ค่าเฉลี่ย 4.07) ไม้ยืนต้นที่มีการขยายพันธุ์ได้ง่าย เช่น กล้าไม้ ลูกไม้ พร้อมทั้งจะขยายพันธุ์ในพื้นที่เพื่อปกคลุมริมตลิ่ง (ค่าเฉลี่ย 4.04) ไม้ยืนต้นที่ทนต่อสภาพดินที่เป็นดินเหนียวเหนียวหรือสภาพดินที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง (ค่าเฉลี่ย 4.03) และ ไม้ยืนต้นที่มีดอกสวยงามให้ดอกตลอดปีเหมาะแก่การนำมาปลูกประดับตกแต่งภูมิทัศน์ในพื้นที่ริมน้ำ (ค่าเฉลี่ย 3.95) (ตารางที่ 2)

3. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของประชาชนต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรงในการป้องกันตลิ่งพังทลาย สมมุติฐานของการวิจัยครั้งนี้ว่า ค่าเฉลี่ยปัจจัยที่ส่งผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรงในการป้องกันตลิ่งพังทลาย ไม่สูงกว่า 3.40 ค่าเฉลี่ยปัจจัยที่ส่งผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรงในการป้องกันตลิ่งพังทลาย สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) จึงปฏิเสธสมมุติฐานที่ตั้งไว้ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้ง 12 ประเด็นนี้ส่งผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลอง

ปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลาย คือ ไม้ยืนต้นที่มีระบบรากหลากหลายทั้งรากแก้ว รากแขนง รากฝอย รากค้ำจุน รากหายใจ ซึ่งช่วยในการดูดซับน้ำและพุงลำต้น ($p \leq 0.01$) ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่ไม่ผลัดใบหรือผลัดใบน้อย ($p \leq 0.01$) ไม้ยืนต้นที่ทนต่อสภาพน้ำขังหรือสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีน้ำ ($p \leq 0.01$) ไม้ยืนต้นที่มีลำต้นแข็งแรงสามารถค้ำจุนเศษวัสดุจำพวกกิ่งไม้ ใบไม้ในช่วงฤดูน้ำหลากและทนต่อการย่อยสลายในน้ำได้ดี ($p \leq 0.01$) ไม้ยืนต้นที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายตัวได้ดี ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ($p \leq 0.01$) มีไม้ยืนต้นเป็นถิ่นอาศัยของสัตว์น้ำและสัตว์บนบกในบริเวณลำคลอง ($p \leq 0.01$) ไม้ยืนต้นที่ทนต่อการหักล้มของการชะล้างของน้ำ ($p \leq 0.01$) ไม้ยืนต้นที่มีผลสุกสวยงามหรือเป็นอาหารของสัตว์น้ำและสัตว์บนบกส่งเสริมระบบนิเวศ ($p \leq 0.01$) ไม้ยืนต้นที่มีการขยายพันธุ์ได้ง่าย เช่น กล้าไม้ ลูกไม้พร้อมที่จะขยายพันธุ์ในพื้นที่เพื่อปกคลุมริมตลิ่ง ($p \leq 0.01$) ไม้ยืนต้นที่ทนต่อสภาพดินที่เป็นดินเหนียวเหลวหรือสภาพดินที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง ($p \leq 0.01$) และ ไม้ยืนต้นที่มีดอกสวยงามให้ดอกตลอดปีเหมาะแก่การนำมาปลูกประดับตกแต่งภูมิทัศน์ในพื้นที่ริมน้ำ ($p \leq 0.01$) และ ไม้ยืนต้นที่ให้ร่มเงามีความร่มรื่น และมีใบเขียวตลอดปี ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปัจจัยที่ส่งผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลาย

(n = 63)				
ลำดับ	ประเด็น	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สถิติทดสอบ
1	ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่ไม่ผลัดใบหรือผลัดใบน้อย	4.28 ³	0.78	t = 13.648, sig = 0.000**
2	ไม้ยืนต้นที่ให้ร่มเงา มีความร่มรื่น และมีใบเขียวตลอดปี	4.32 ²	0.71	t = 2.008, sig = 0.049*
3	ไม้ยืนต้นที่ทนต่อสภาพน้ำขังหรือสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีน้ำ	4.24 ⁴	0.76	t = 6.427, sig = 0.000**
4	ไม้ยืนต้นที่ทนต่อสภาพดินที่เป็นดินเหนียวเหลวหรือสภาพดินที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง	4.03 ¹¹	0.74	t = 10.909, sig = 0.000**
5	ไม้ยืนต้นที่ทนต่อการหักล้มของการชะล้างของน้ำ	4.08 ⁸	0.74	t = 9.858, sig = 0.000**
6	ไม้ยืนต้นที่มีระบบรากหลากหลายทั้งรากแก้ว รากแขนง รากฝอย รากค้ำจุน รากหายใจ ซึ่งช่วยในการดูดซับน้ำและพุงลำต้น	4.35 ¹	0.78	t = 10.544, sig = 0.000**
7	ไม้ยืนต้นที่มีลำต้นแข็งแรงสามารถค้ำจุนเศษวัสดุจำพวกกิ่งไม้ ใบไม้ในช่วงฤดูน้ำหลากและทนต่อการย่อยสลายในน้ำได้ดี	4.18 ⁵	0.73	t = 11.775, sig = 0.000**
8	ไม้ยืนต้นที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายตัวได้ดี ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ	4.15 ⁶	0.73	t = 7.995, sig = 0.000**
9	ไม้ยืนต้นเป็นถิ่นอาศัยของสัตว์น้ำและสัตว์บนบกในบริเวณลำคลอง	4.10 ⁷	0.75	t = 9.323, sig = 0.000**
10	ไม้ยืนต้นที่มีผลสุกสวยงามหรือเป็นอาหารของสัตว์น้ำและสัตว์บนบกส่งเสริมระบบนิเวศ	4.07 ⁹	0.80	t = 12.491, sig = 0.000**
11	ไม้ยืนต้นที่มีการขยายพันธุ์ได้ง่าย เช่น กล้าไม้ ลูกไม้ พร้อมที่จะขยายพันธุ์ในพื้นที่เพื่อปกคลุมริมตลิ่ง	4.04 ¹⁰	0.75	t = 9.477, sig = 0.000**
12	ไม้ยืนต้นที่มีดอกสวยงามให้ดอกตลอดปีเหมาะแก่การนำมาปลูกประดับตกแต่งภูมิทัศน์ในพื้นที่ริมน้ำ	3.95 ¹²	0.82	t = 8.430, sig = 0.000**
รวม		4.15	0.76	t = 6.745, sig = 0.000**

หมายเหตุ: * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) เลขยกกำลังหมายถึงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย

4. ข้อเสนอแนะและความต้องการของประชาชนเกี่ยวกับการดูแลรักษาไม้ยืนต้นริมคลองเพื่อการป้องกันตลิ่งพังทลาย ประชาชนส่วนใหญ่ ร้อยละ 55.00 เห็นว่าควรมีการปลูกไม้ยืนต้นริมคลองเพิ่มเติม เพื่อเสริมความมั่นคงของตลิ่ง โดยชนิดไม้ที่ประชาชนต้องการให้ปลูกมากที่สุด ได้แก่ ไม้ท้องถิ่นที่มีระบบรากแข็งแรงและทนต่อน้ำท่วม เช่น ต้นสาย ต้นจิกนมยาน หว้า ตะขบ และตะแบก เนื่องจากไม้เหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ มีความทนทานต่อการชะล้างของน้ำ และยังให้ร่มเงาเพิ่มความร่มรื่นแก่ชุมชน ขณะที่ประชาชนอีกร้อยละ 45.00 เห็นว่าควรมีการสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์ไม้ยืนต้นริมคลองโดยเน้น

ให้เกิดความเข้าใจเรื่อง บทบาทของไม้ยืนต้นต่อการป้องกันตลิ่งพังทลาย การลดมลพิษทางน้ำและอากาศ รวมถึงการเป็นแหล่งอาศัยของสัตว์น้ำและสัตว์ป่าในท้องถิ่น ซึ่งสามารถดำเนินการผ่านกิจกรรมของชุมชน เช่น โครงการหนึ่งบ้านหนึ่งต้นไม้ริมคลอง การจัดเวทีให้ความรู้ในโรงเรียนและวัด ป้ายประชาสัมพันธ์ แสดงชนิดไม้เด่นพร้อมประโยชน์ของแต่ละชนิด ข้อเสนอแนะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ประชาชนไม่ได้เพียงต้องการการปลูกไม้เพิ่มเติมเท่านั้นแต่ยังให้ความสำคัญกับการมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นฐานสำคัญของการจัดการระบบนิเวศริมคลองอย่างยั่งยืน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าไม้ยืนต้นริมคลองมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โดยจาก 10 จุดสำรวจ มีเพียง 4 จุดที่ยังคงสภาพสมบูรณ์ อีก 6 จุดแสดงสัญญาณของความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศริมคลอง ซึ่งมีสาเหตุจากกิจกรรมของมนุษย์และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (สมศักดิ์ ศรีอุดม, 2562) การประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นโดยใช้สมการถ่วงน้ำหนักพบว่า ค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (3.40) โดยจุดที่ได้คะแนนสูงสุด คือ บริเวณหลังร้านส้มตำทางขึ้นน้ำตกปลิว เนื่องจากมีความหลากหลายของพันธุ์ไม้ และคุณลักษณะที่สอดคล้องกับตัวชี้วัด เช่น ความทนทานต่อน้ำขัง การให้ร่มเงา และการขยายพันธุ์ง่าย (ล้อมเพชร จันทร์เพ็ญ และ สร้อยสุวรรณ ใจดี, 2563) ตัวชี้วัดที่ได้คะแนนสูง ได้แก่ ไม้ขนาดใหญ่ ไม่ผลัดใบ และให้ร่มเงาตลอดปี ซึ่งช่วยรักษาโครงสร้างตลิ่งและเสถียรภาพของดินริมคลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ทวีชัย ศรีสวัสดิ์ และ พรพรรณ พงษ์เจริญ, 2564) สำหรับพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมต่อการฟื้นฟู เช่น สาย, จิกนมยาน, หว้า, ตะขบ, มะเดื่อชุมพร, คล้าย, ตะแบก และกระท่อมขี้หนู โดยไม้ถิ่นเดิมเหล่านี้สามารถป้องกันการกัดเซาะตลิ่งและรักษาสมดุลระบบนิเวศน้ำจืดได้ดี (พงษ์ศักดิ์ สุขสม และ คำแหง ธรรมชาติ, 2565) ประชาชนในพื้นที่มีความรู้และรับรู้ถึงบทบาทของไม้ยืนต้น ทั้งในด้านการป้องกันตลิ่ง การยึดเกาะดิน และบทบาทด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การลดคาร์บอนและปรับปรุงคุณภาพอากาศ ปัจจัยที่ประชาชนให้ความสำคัญสูงสุดคือระบบรากที่หลากหลายซึ่งช่วยเสริมการยึดเกาะหน้าดินและการดูดซับน้ำได้ดี (ประภาพรธรรม นาคดี, 2560) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองมีความแตกต่างจากเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยเฉพาะความแข็งแรงของลำต้น ความทนต่อน้ำขัง และการขยายพันธุ์ตามธรรมชาติ ซึ่งล้วนเป็นคุณสมบัติที่ส่งผลโดยตรงต่อความมั่นคงของตลิ่งและระบบนิเวศ (นิรมล อินทรา และคณะ, 2565) ข้อเสนอแนะจากประชาชนส่วนใหญ่ คือ ต้องการให้ปลูกไม้ยืนต้นเพิ่มเติมและส่งเสริมจิตสำนึกในการอนุรักษ์ ซึ่งแสดงแนวความคิดการมีส่วนร่วมของชุมชนในการดูแลทรัพยากรธรรมชาติ ตามแนวทางของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส., 2562) ไม้ยืนต้นจึงไม่ได้มีคุณค่าด้านนิเวศหรือเชิงกายภาพเท่านั้น แต่ยังเป็นสัญลักษณ์ของภูมิปัญญาท้องถิ่นและความร่วมมือของชุมชนในการอนุรักษ์ธรรมชาติอย่างยั่งยืน

สรุปผล (Conclusion)

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการประเมินศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรก ในพื้นที่เทศบาลตำบลต้าใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ทั้งในด้านกายภาพและมุมมองของชุมชนท้องถิ่น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์และพัฒนาพื้นที่ริมตลิ่งอย่างยั่งยืน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ การสำรวจภาคสนามและการประเมินความคิดเห็นของประชาชนในพื้นที่ จากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ 10 จุด พบว่า มีเพียง 6 จุดที่มีไม้ยืนต้นปรากฏอยู่ โดยจุดที่มีความหลากหลายของชนิดพรรณไม้มากที่สุดคือจุดที่ 3 (บริเวณด้านหลังร้านส้มตำทางขึ้นน้ำตกปลิว) ซึ่งพบไม้ยืนต้นถึง 9 ชนิด และได้รับคะแนนการประเมินศักยภาพสูงสุด (4.26) รองลงมาคือจุดที่ 1 และจุดที่ 8 ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยในภาพรวมรวมของศักยภาพไม้ยืนต้นตลอดเส้นทางอยู่ในระดับปานกลาง (3.40) บ่งชี้ถึงความจำเป็นในการฟื้นฟูพื้นที่ริมคลองเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของตลิ่งและลดความเสี่ยงต่อการพังทลาย การประเมินศักยภาพไม้ยืนต้นใช้เกณฑ์ 12 ตัวชี้วัด ผ่านสมการถ่วงน้ำหนักพบว่าคุณลักษณะของไม้ยืนต้นที่มีผลต่อคะแนนสูง ได้แก่ ไม้ที่มีลักษณะไม่ผลัดใบหรือผลัดใบน้อย ให้ร่มเงา มีใบเขียวตลอดปี

และสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมชื้นหรือน้ำขังบางช่วง ไม้ยืนต้นที่แนะนำสำหรับการป้องกันตลิ่งพังทลายประกอบด้วยพรรณไม้พื้นถิ่น เช่น จิกนมยาน หว้า ตะขบ มะเดื่อชุมพร ตะแบก ซึ่งสามารถยึดเกาะดิน ลดแรงกัดเซาะของน้ำ และเสริมความงามทางภูมิทัศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนของการศึกษาความคิดเห็นของประชาชน ทั้งสิ้น 63 ราย ส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรและมีอายุเฉลี่ยมากกว่า 50 ปี พบว่าประชาชนในพื้นที่มีความรู้เกี่ยวกับไม้ยืนต้นค่อนข้างดี โดยสามารถระบุชื่อพรรณไม้ได้หลากหลายชนิดและโดยสามารถระบุชื่อพรรณไม้ได้หลากหลายชนิด และมีความเข้าใจในบทบาทของไม้ยืนต้น ทั้งในด้านการป้องกันการพังทลายของตลิ่งรวมถึงการสร้างคุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อม อาทิการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศ การลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีส่วนร่วมเชิงนิเวศในมิติต่าง ๆ อย่างหลากหลาย ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติโดยใช้การทดสอบทีพบว่า ทั้ง 12 ประเด็นส่งผลกระทบต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นริมคลองปากแพรกในการป้องกันตลิ่งพังทลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่น ไม้ยืนต้นที่มีระบบรากหลากหลาย ได้แก่ รากแก้ว รากแขนง รากฝอย รากหายใจ การเจริญเติบโตในพื้นที่น้ำขัง ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม และความสามารถในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของมนุษย์ด้านต่างๆ

เอกสารอ้างอิง (Reference)

- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2560). รายงานสถานการณ์อุทกภัยประจำปี 2560. กรุงเทพฯ: กระทรวงมหาดไทย.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2561). คู่มือการจัดการพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ทวีชัย ศรีสวัสดิ์ และพรพรรณ พงษ์เจริญ. (2564). การวิเคราะห์ลักษณะไม้ยืนต้นที่เหมาะสมต่อการป้องกันตลิ่งริมคลอง. สิ่งแวดล้อมไทย. 30(2), 45–58.
- เทศบาลตำบลลำใหญ่. (2566). แผนพัฒนาเทศบาลตำบลลำใหญ่ (พ.ศ. 2566–2570). นครราชสีมา: สำนักปลัดเทศบาล.
- นิรมล อินทรา, ปราโมทย์ จันทรวีโรจน์ และสุวรรณา มั่งมี. (2565). ปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพของไม้ยืนต้นในพื้นที่ชุ่มน้ำภาคใต้. วิจัยสิ่งแวดล้อม 18(1), 77–89.
- ประภาพร นาคดี. (2560). การรับรู้ของประชาชนต่อบทบาทของไม้ยืนต้นในชุมชนเมือง. การจัดการสิ่งแวดล้อม. 13(3), 115–127.
- พงษ์ศักดิ์ สุขสม และ คำแหง ธรรมชาติ. (2565). พรรณไม้ท้องถิ่นที่เหมาะสมต่อการฟื้นฟูพื้นที่ตลิ่งริมคลองในเขตภาคใต้. วนศาสตร์. 41(1), 23–35.
- มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ (สสช.). (2562). แนวทางการมีส่วนร่วมของชุมชนในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ.
- ล้อมเพชร จันทร์เพ็ญ และสร้อยสุวรรณ ใจดี. (2563). การประเมินศักยภาพไม้ยืนต้นเพื่อการอนุรักษ์ตลิ่งโดยใช้สมการถ่วงน้ำหนัก. วิจัยพฤกษศาสตร์. 35(2), 62–74.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). แนวทางการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำและการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สมศักดิ์ ศรีอุดม. (2562). สภาพนิเวศไม้ยืนต้นริมคลองในเขตเมืองและแนวโน้มการเสื่อมโทรม. สิ่งแวดล้อมเมือง. 12(4), 34–49.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Urban trees and forests: A guide for decision-makers. Rome: FAO.

การคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จำเพาะต่อคาร์บาริลและไซเปอร์เมทริน เพื่อการตรวจสอบปริมาณด้วยเทคนิค Electrochemical aptasensor

Selection of carbaryl and cypermethrin-specific DNA aptamers for quantitative detection using electrochemical aptasensor technique

อัจฉราพรรณ ใจเจริญ^{1*} มัลลิกา ทองเขียว² อิทธิพล บั้วพรม² สุภาพร บั้วพรม² นาทยา จันทรส้อง²
กฤตยา เพชรณี³ และศิริวัลย์ สร้อยกล่อม³

Adcharapun Chaicharoen^{1*}, Malliga Thongkheaw², Ittipon Bongprom², Supapron Bongprom²,
Nattaya Jansong², Krittaya Petchpoung³ and Siriwan Soiklom³

-
- ¹ สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร จังหวัดปทุมธานี 12110
 - ² สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 กรมวิชาการเกษตร จังหวัดอุบลราชธานี 34190
 - ³ ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

- ¹ Biotechnology Research and Development Office, Department of Agriculture, Pathum Thani 12110
- ² Office of Agricultural and Development Region 4, Department of Agriculture, Ubon Ratchathani 34190
- ³ Scientific Equipment and Research Division, Kasetsart University Research and Development Institute, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: E-mail: adcharapun1826@gmail.com Tel : 089-7981826

Received: June 30, 2025;

Revised: October 6, 2025;

Accepted: October 16, 2025

การคัดเลือกดีเอ็นเอแอสตาเมอร์ที่จำเพาะต่อคาร์บาริลและไซเพอร์เมทริน เพื่อการตรวจสอบปริมาณด้วยเทคนิค Electrochemical aptasensor

Selection of carbaryl and cypermethrin-specific DNA aptamers for quantitative detection using electrochemical aptasensor technique

บทคัดย่อ

การตรวจสอบสารตกค้างทางการเกษตรในผลผลิตเป็นขั้นตอนที่จำเป็นของกระบวนการผลิตอาหารปลอดภัย หากแต่การตรวจสอบมีความยุ่งยาก ใช้เวลานาน และมีต้นทุนสูง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงพัฒนาการตรวจสอบสารตกค้างทางการเกษตรอย่างง่ายและรวดเร็ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกดีเอ็นเอแอสตาเมอร์ที่จับกับคาร์บาริลและไซเพอร์เมทริน เพื่อนำไปพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบด้วยเทคนิค Electrochemical aptasensor การวิจัยใช้สารมาตรฐานคาร์บาริลและไซเพอร์เมทรินเป็นแอสตาเจนในการคัดเลือกดีเอ็นเอแอสตาเมอร์ด้วยวิธี systematic evolution of ligands by exponential enrichment (SELEX) และวิธี indirect enzyme-linked aptamer assay (ELAA) พบว่า คัดเลือกดีเอ็นเอแอสตาเมอร์ที่จับกับคาร์บาริลและไซเพอร์เมทรินได้ จำนวน 13 และ 22 เส้น ตามลำดับ นำดีเอ็นเอแอสตาเมอร์ที่จับกับคาร์บาริล Car26 และไซเพอร์เมทริน Cyp126 ตรึงดีเอ็นเอแอสตาเมอร์ บนขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทอง (Screen printed gold electrode; SPE gold) เพื่อพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบคาร์บาริลและไซเพอร์เมทรินในพืชผัก พบค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (limit of detection: LOD) ของชุดตรวจสอบคาร์บาริลและไซเพอร์เมทริน มีค่าเท่ากับ 0.049 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 0.044 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การใช้ชุดตรวจสอบสารด้วย Electrochemical aptasensor มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการตรวจสอบด้วยวิธีทางเคมี สามารถอ่านผลเป็นตัวเลขได้ ทำให้ชุดตรวจสอบนี้มีความสะดวกและง่ายในการใช้งาน

คำสำคัญ: ดีเอ็นเอแอสตาเมอร์, คาร์บาริล, ไซเพอร์เมทริน, สารกำจัดศัตรูพืช, ไบโอสเซนเซอร์

Abstract

Testing for pesticide residue is a necessary step in the food safety production process. However, testing is complicated, time-consuming, and costly. Therefore, this research aimed to develop a simple and rapid method for pesticide residue detection. This study aimed to select DNA aptamers specific to carbaryl and cypermethrin for the development of an electrochemical aptasensor-based detection system. Carbaryl and cypermethrin standards were used as aptagen targets during aptamer selection via Systematic Evolution of Ligands by Exponential enrichment (SELEX) and indirect enzyme-linked aptamer assay (ELAA). A total of 13 and 22 DNA aptamer strands binding to carbaryl and cypermethrin, respectively, were successfully isolated. Among these, the carbaryl-binding aptamer Car26 and cypermethrin-binding aptamer Cyp126 were immobilized onto screen-printed gold electrodes (SPE gold) to construct biosensors for detecting pesticide residues in vegetables. The developed aptasensors demonstrated low detection limits (LOD) of 0.049 ppm for carbaryl and 0.044 ppm for cypermethrin. Compared to conventional chemical analysis methods, this electrochemical aptasensor offers lower cost, digital quantitative output, and user-friendly operation, making it a practical tool for rapid on-site screening.

Keywords: DNA aptamer, Carbaryl, Cypermethrin, Pesticides, Biosensor

บทนำ (Introduction)

สารกำจัดแมลงศัตรูพืชนอกจากจะมีประโยชน์ต่อทางเกษตรกรรมแล้ว ในอีกแง่มุมหนึ่งก็จัดเป็นสารเคมีอันตรายที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ทั้งเกษตรกรและผู้บริโภค หากสัมผัส สูดดม หรือรับประทานสารเหล่านี้เข้าสู่ร่างกาย โดยสารบางชนิดก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง พิษเฉียบพลันที่พบบ่อย ได้แก่ ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ระบบประสาท และกล้ามเนื้อ เป็นต้น ส่วนพิษเรื้อรัง ได้แก่ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ก่อมะเร็ง และก่อให้เกิดความพิการแก่ทารก เป็นต้น ซึ่งสินค้าเกษตรที่วางขายตามท้องตลาด มักไม่มีร่องรอยของการถูกทำลายโดยโรคและแมลงศัตรูพืช แม้ผลผลิตทางการเกษตรจะมีลักษณะสวยงามปราศจากแมลง แต่ไม่ได้สะท้อนถึงความปลอดภัยจากสารตกค้าง อาจมีสารตกค้างจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและโลหะหนัก การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรา เป็นต้น

การตรวจสอบสารตกค้างทางการเกษตรในผลผลิตก่อนออกจากแปลงสู่แหล่งจำหน่าย เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการผลิตอาหารปลอดภัย โดยทั่วไปนิยมใช้เทคนิคทางเคมี ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารได้อย่างละเอียดและแม่นยำ อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่ายที่สูง ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง และมีขั้นตอนการสกัดที่ซับซ้อน ไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก แม้ปัจจุบันจะมีการพัฒนาชุดทดสอบสารพิษตกค้างภาคสนาม ที่อาศัยหลักการทางเคมีในการตรวจสอบ แต่ยังคงต้องอาศัยขั้นตอนและอุปกรณ์ที่ซับซ้อน ทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้งานในระดับเกษตรกรหรือการตรวจสอบภาคสนามอย่างแท้จริง

ปัจจุบันมีการนำลำดับนิวคลีโอไทด์สายสั้นๆ อาจเป็น RNA, ssDNA หรือ dsDNA ที่เรียกว่า แอปตามอร์ (aptamer) มีคุณสมบัติมีแนวโน้มพับเกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (tertiary structure) ซึ่งมีการทำงานคล้ายกับโมโนโคลนอลแอนติบอดี คือ สามารถจับกับโมเลกุลต่างๆ ได้อย่างจำเพาะและหลากหลายชนิด ซึ่งขั้นตอนแรกของการผลิตแอปตามอร์คือการออกแบบลำดับนิวคลีโอไทด์สายเดี่ยวแบบสุ่ม (randomized sequence) ขนานขึ้นด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ทราบลำดับเบส จำนวนชนิดของแอปตามอร์นั้นจะมีความหลากหลายมากเนื่องจากความหลากหลายของลำดับนิวคลีโอไทด์แบบสุ่มที่อยู่ตรงกลางลำดับนิวคลีโอไทด์ เมื่อแอปตามอร์แต่ละเส้นเกิดการม้วนพับ จะเกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิที่มีลักษณะต่างๆ กัน ซึ่งคาดว่าจะมีความหลากหลายมากกว่า 10^{30} ชนิด จึงเสมือนเป็นคลังแอปตามอร์ (aptamer library) โครงสร้างทุติยภูมิของแอปตามอร์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถเข้าจับโมเลกุลได้อย่างจำเพาะเจาะจง (Michaud et al., 2003)

หนึ่งในการคัดเลือกแอปตามอร์ที่มีคุณสมบัติในการจับกับโมเลกุลที่ต้องการจากคลังแอปตามอร์คือเทคนิค systematic evolution of ligands by exponential enrichment (SELEX) (Tuerk & Gold, 1990) ซึ่งมีเพียง 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1. นำคลังแอปตามอร์จับกับโมเลกุลเป้าหมาย 2. คัดแยกแอปตามอร์ที่จับกับโมเลกุลเป้าหมาย และ 3. เพิ่มปริมาณแอปตามอร์ที่จับกับโมเลกุลเป้าหมายด้วยเทคนิคพีซีอาร์ การคัดเลือกแอปตามอร์ด้วยวิธี SELEX ส่วนใหญ่จะคัดเลือกประมาณ 5-15 รอบ

เทคโนโลยีดีเอ็นเอแอปตามอร์ที่นำมาใช้ในการตรวจหาสารตกค้างทางการเกษตร สามารถนำมาพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบสารตกค้างทางการเกษตรอย่างง่ายได้เกษตรกรและเจ้าหน้าที่ภาคสนามยังสามารถตรวจวิเคราะห์ได้ด้วยตัวเองและทราบผลในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งมีรายงานถึงความสำเร็จของการใช้แอปตามอร์ตรวจสอบสารกำจัดแมลงศัตรูพืชในน้ำและอาหาร (Wang et al., 2012; Liu et al., 2019; Phopin & Tantimongkolwat, 2020) รวมถึงรายงานการใช้แอปตามอร์ตรวจหาแคดเมียมที่ปนเปื้อน ในน้ำดื่มและสิ่งแวดล้อม (Wu et al., 2014; Zhu et al., 2017) และการตรวจหาตะกั่วในน้ำดื่ม (Shahdordizadeh et al., 2018; Abu-Ali et al., 2019) โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตามอร์และพัฒนาเทคนิค Electrochemical aptasensor สำหรับการตรวจวัดสารกำจัดศัตรูพืชชนิดคาร์บาไรลและไซเพอร์เมทรีนในสารสกัดจากพืชผัก

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (Material and Methodology)

1. การคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับสารคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทริน

1.1 การเตรียมคลังดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ (DNA aptamer library)

สังเคราะห์ดีเอ็นเอสายเดี่ยว (DNA aptamer) ขนาด 100 นิวคลีโอไทด์ ดังนี้ 5'-AAAGAATTCAAGCTTGCAAGCTTGTTCGAGCCAG-(N₄₀)-TCGGATCCGCTATAGTGAGTCGTATTA-3'(BIONICS, South Korean) ซึ่งประกอบ ด้วยนิวคลีโอไทด์แบบสุ่มจำนวน 40 เมอร์ (N₄₀) อยู่บริเวณกลางของ DNA aptamer ส่วนบริเวณด้านข้างทั้งสองด้านเป็นลำดับนิวคลีโอไทด์สำหรับเพิ่มปริมาณด้วยไพรเมอร์ โดยวิธี PCR ดังนี้ forward primer (AptF), 5'-TTTCTGCAGGTCGACTAATACGACTCACTATAGCGGA-3'; reverse primer (AptR), 5'-AAAGAATTCAAGCTTGCAAGCTTGTTCGAGCCAG-3' เมอร์ และสังเคราะห์ไพรเมอร์ AptR-Biotin [(biotin)-5-AAAGAATTCAAGCTTGCAAGCTTGTTCGAGCCAG-3] สำหรับติด biotin ที่ปลาย 5' ของ DNA aptamer

1.2 การคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับสารคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทริน ด้วยวิธี SELEX

คัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับกับสารมาตรฐานคาร์บาริล (carbaryl) และ ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin) จากคลัง ดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ ด้วยวิธีคัดแปลง SELEX ของ Hall et al. (2009) จำนวน 15 รอบ โดยนำคลังดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ 1 นาโนโมลาร์ มาละลายใน Phosphate buffered saline (PBS: Sigma, USA) ที่เติม Tween-20 เข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร (PBST) ต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และแช่ในน้ำแข็งทันที นาน 10 นาที จากนั้น เติมสารมาตรฐานคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทริน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่ายลงคอลัมน์ Vivaspin 500 (GE Healthcare, Sweden) ที่มี Molecular Weight Cut Off (MWCO) 30 กิโลดาลตัน หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ล้างคอลัมน์ด้วย PBST ปริมาตร 1 มิลลิลิตร หมุนเหวี่ยงเช่นเดิม เป็นเวลา 30 นาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง ละลาย aptamer-carbaryl/cypermethrin complex ออกจากคอลัมน์ ด้วย PBST ปริมาตร 100 ไมโครลิตร นำ aptamer-carbaryl/cypermethrin complex ไปเพิ่มปริมาณด้วยปฏิกิริยา PCR โดยใช้ 1X GoTaq® Colorless Master Mix (Promega, USA) และไพรเมอร์ AptF และ AptR มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาดังนี้ คือ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 120 วินาที ตามด้วย 15 รอบของอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 30 วินาที (denature) อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 30 วินาที (annealing) และอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส 30 วินาที (extension) นำผลผลิตจาก PCR ทดสอบด้วยวิธี indirect ELISA โดยคัดแปลงจากวิธีการของ Barthelmebe et al. (2011) โดยใช้สารมาตรฐานคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทริน เคลือบลงในหลุมของถาด ELISA เปรียบเทียบกับบัพเฟอร์ จากนั้นสังเคราะห์ดีเอ็นเอ แอปตาเมอร์ที่จับกับสารมาตรฐานคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทริน และติดฉลากด้วยหมู่ SH ด้านปลาย 5' เพื่อนำไปเคลือบลงบนแผ่นขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทอง (SPE gold)

2. การพัฒนาชุดตรวจสอบคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทรินด้วยเทคนิค Electrochemical aptasensor

2.1 การสกัดตัวอย่างพืชผัก กลุ่ม High water and chlorophyll content

วิเคราะห์สารพิษตกค้างของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสฟอรัส โดยใช้กะน้าเป็นพืชตัวแทน กลุ่ม High water and chlorophyll content ด้วยการวิเคราะห์สารพิษตกค้างแบบรวม ด้วยวิธี QuEChERS ตามวิธีของ BSI (2018) โดยล้างตัวอย่างกะน้าให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ทั้งต้นและใบโดยใช้มีด จากนั้น นำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ปั่นแล้ว ชั่ง 10 กรัม ใส่ใน centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย acetonitrile ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท เขย่าด้วย vortex mixer นาน 1 นาที เติม magnesium sulfate (MgSO₄) จำนวน 4.0 กรัม sodium chloride (NaCl)

จำนวน 1.0 กรัม trisodium citrate dihydrate ($C_6H_6Na_2O_7$) จำนวน 1.0 กรัม และ sodium citrate dibasic sesquihydrate ($C_6H_6Na_2O_7$) จำนวน 0.5 กรัม แล้วปิดฝา เขย่าแรงๆ ด้วยมือทันที ตามด้วยเขย่าด้วย vortex mixer นาน 1 นาที นำไปปั่นตกตะกอนที่ความเร็วรอบ $\geq 3,500$ รอบต่อนาที นาน 3 นาที ดูดสารละลายตัวอย่างส่วนบน ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ใน centrifuge tube ขนาด 15 มิลลิลิตร ซึ่งเป็น Dispersive-SPE clean-up ที่บรรจุ magnesium sulfate ($MgSO_4$) ประมาณ 0.9 กรัม และ PSA ประมาณ 0.15 กรัม ปิดฝาให้สนิท แล้วเขย่าด้วย vortex mixer นาน 1 นาที นำไปปั่นตกตะกอนที่ความเร็วรอบ $\geq 3,500$ รอบต่อนาที นาน 3 นาที กรองสารผ่าน syringe filter (PTFE/Nylon) ขนาด 0.2/0.45 ไมโครเมตร ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารด้วยเครื่อง Zensor Simulator AC Impedance รุ่น ACIP100 (Zensor, Taiwan)

2.2 การยัดดีเอ็นเอแอปตามอร์ต่อสารคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทรินบนขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนทอง (Screen printed gold electrode; SPE Gold) ตามวิธีดัดแปลงของ Naghshbandi et al. (2022)

ล้างขั้วไฟฟ้า SPE Gold ด้วยเครื่องล้างแผ่นขั้วไฟฟ้าชนิด Atomspheric Pressure Plasma (Creating Nano Technologies, Taiwan) โดยใช้ความเร็วในการสแกน 30 มิลลิเมตรต่อวินาที และ ระยะห่าง 6 มิลลิเมตร จากนั้น หยดดีเอ็นเอแอปตามอร์ที่จำเพาะต่อคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทรินซึ่งพ่วงด้วยสารกลุ่ม Thiol (SH) ทางด้านปลาย 5' ของเส้นดีเอ็นเอแอปตามอร์ ความเข้มข้น 4 ไมโครโมล ปริมาตร 3 ไมโครลิตร ลงบนขั้วไฟฟ้า SPE Gold ปลอ่ยให้แห้ง ล้างขั้วไฟฟ้าด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จากนั้น หยด BlockPRO™ 1 Min Protein-Free Blocking Buffer (visual protein, Taiwan) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนขั้วไฟฟ้า บ่มนาน 5 นาที และล้างขั้วไฟฟ้าด้วย เก็บขั้วไฟฟ้า SPE Gold ที่เคลือบด้วยดีเอ็นเอแอปตามอร์ต่อคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทรินที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.3 การคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตามอร์ที่จับกับคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทริน

ใช้ดีเอ็นเอแอปตามอร์ต่อคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทรินที่พ่วงด้วย ชนิดละ 3 เส้น ได้แก่ Car4, Car10, Car26, Cyp49, Cyp71 และ Cyp126เคลือบลงบนขั้วไฟฟ้า SPE Gold นำสารมาตรฐานคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทริน ที่เจือจางใน binding buffer (1 mM $MgCl_2$, 140 mM NaCl, 2.7 mM KCl, 0.1 mM Na_2HPO_4 and 1.8 mM, KH_2PO_4 pH 7.4) เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หยดลงบนขั้วไฟฟ้า SPE Gold ที่เคลือบด้วยดีเอ็นเอแอปตามอร์แต่ละเส้น จากนั้นวัดค่าสเปกตรัมของอิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Impedance Spectroscopy; EIS) ด้วยเครื่อง Zensor Simulator AC Impedance รุ่น ACIP100 (Zensor, Taiwan)

2.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของดีเอ็นเอแอปตามอร์

สารสกัดพืชผักที่ได้จากข้อ 2.1 ละลายด้วย acetonitrile ซึ่งส่งผลต่อการจับสารเป้าหมายของดีเอ็นเอแอปตามอร์ ที่เคลือบอยู่บนขั้วไฟฟ้า จึงใช้น้ำกลั่นเจือจางสารสกัดจากพืชผัก ในอัตรา 1:2 และ 1:4 ที่เดิม สารมาตรฐานไซเพอร์เมทริน เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หยดลงบนขั้วไฟฟ้า SPE Gold ที่เคลือบด้วยดีเอ็นเอแอปตามอร์ บ่มนาน 30 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน ซับให้แห้ง แล้วต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับเครื่อง Zensor Simulator AC Impedance รุ่น ACIP100 (Zensor, Taiwan) จากนั้นวัดค่าสเปกตรัมของอิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Impedance Spectroscopy; EIS)

2.5 การหาช่วงความเป็นเส้นตรง และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณได้ ในการตรวจสอบคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทรินในสารสกัดพืชผัก

เติมสารมาตรฐานคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทรินให้มีความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสารสกัดจากพืชผักที่เจือจางในน้ำกลั่น อัตรา 1:4 หยดลงบนแผ่นขั้วไฟฟ้าเคลือบด้วยดีเอ็นเอแอปตามอร์ต่อคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทริน บ่มนาน 30 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน ซับให้แห้ง

แล้วต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับเครื่องตรวจสอบปริมาณสารสำคัญทางการเกษตรภาคสนาม (Zensor Simulator AC Impedance รุ่น ACIP100) จากนั้น วิเคราะห์ปริมาณคาร์บาร์ลิ/ไซเพอร์เมทริน ด้วยการวัดค่า EIS นำค่า EIS ที่ได้วิเคราะห์ได้ สร้างกราฟมาตรฐานและคำนวณหาช่วงความเป็นเส้นตรง (linearity range) ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (limit of detection: LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ปริมาณ (Limit of quantitative: LOQ)

การประเมินค่า LOD และค่า LOQ ใช้สมการจากรายงานของ Ellison and Williams (2012) ดังนี้

$$\text{LOD} = \frac{3.3 \times \sigma}{b} \quad \text{LOQ} = \frac{10 \times \sigma}{b}$$

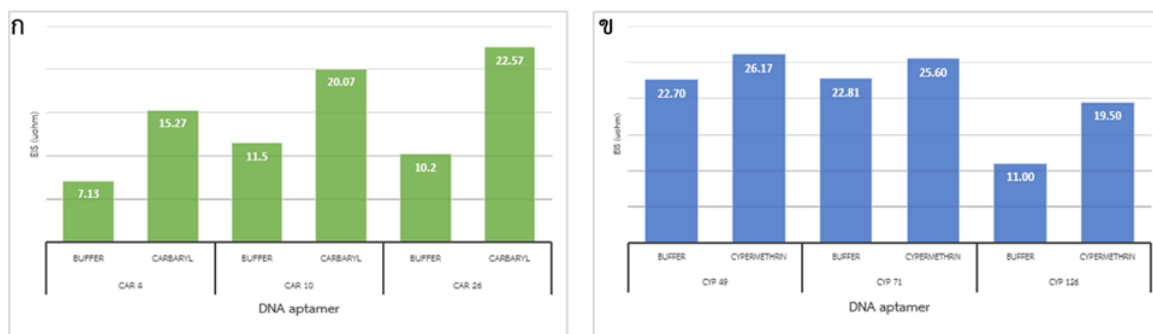
เมื่อ σ คือ ค่า residual standard deviation ของสัญญาณการตอบสนอง

b คือ ความชันของเส้นสอบเทียบ ซึ่งสะท้อนความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนและความไวของเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

ผลและอภิปราย (Result and Discussion)

1. การคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับสารคาร์บาร์ลิ/ไซเพอร์เมทริน

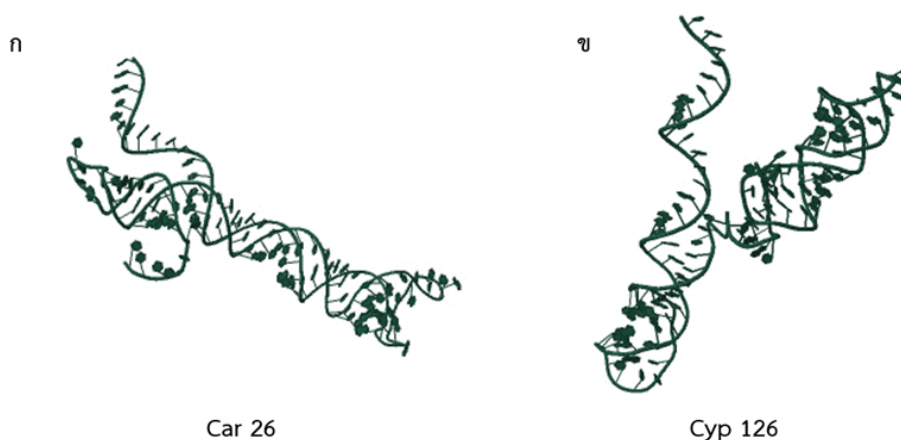
คัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับกับคาร์บาร์ลิ/ไซเพอร์เมทริน ด้วยเทคนิค SELEX และวิธี indirect ELAA พบว่าดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่ผ่านการคัดเลือกสามารถจับกับสารมาตรฐานคาร์บาร์ลิ/ไซเพอร์เมทริน ได้ จึงคัดเลือกดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับกับคาร์บาร์ลิ/ไซเพอร์เมทริน ที่มีค่า S/N ration มากกว่า 2 จำนวน 6 เส้น ได้แก่ ดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ต่อคาร์บาร์ลิ Car4, Car10, Car26 และดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ต่อไซเพอร์เมทริน Cyp49, Cyp71 และ Cyp126 จากนั้น นำดีเอ็นเอแอปตาเมอร์แต่ละเส้น ตรึงบนขั้วไฟฟ้า SPE Gold เพื่อวิเคราะห์การจับกับคาร์บาร์ลิ/ไซเพอร์เมทริน โดยเปรียบเทียบกับบัพเฟอร์ที่ใช้ละลายสารมาตรฐาน หากค่า EIS ของการตรวจจับคาร์บาร์ลิ/ไซเพอร์เมทริน เพิ่มขึ้นจากค่า EIS ของบัพเฟอร์ นั้นแสดงว่า ดีเอ็นเอแอปตาเมอร์บนขั้วไฟฟ้าสามารถจับกับคาร์บาร์ลิ/ไซเพอร์เมทรินได้ จากการทดลองพบว่า ดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับกับคาร์บาร์ลิ Car4, Car10 และ Car26 มีค่าสัญญาณ EIS ของการตรวจจับคาร์บาร์ลิ/บัพเฟอร์ เท่ากับ 15.27/7.13, 20.07/11.50 และ 22.57/10.20 ไมโครโอห์ม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าสัญญาณ EIS ของบัพเฟอร์ทุกเส้น (ภาพที่ 1ก) ส่วนดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จำเพาะต่อไซเพอร์เมทริน Cyp49, Cyp71 และ Cyp126 มีค่า EIS ของการตรวจจับไซเพอร์เมทริน/บัพเฟอร์ เท่ากับ 26.17/22.70, 25.60/22.81 และ 19.50/11.00 ไมโครโอห์ม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าสัญญาณ EIS ของบัพเฟอร์ทุกเส้นเช่นกัน (ภาพที่ 1ข) จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ทุกเส้น เมื่อตรึงบนขั้วไฟฟ้า ยังคงความสามารถในการจับกับสารเป้าหมายได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้ดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับกับคาร์บาร์ลิ Car26 และ ดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับกับไซเพอร์เมทริน Cyp126 ซึ่งประกอบด้วยลำดับเบส จากปลาย 5' ไปปลาย 3' ดังแสดงในตารางที่ 1 และเมื่อนำลำดับนิวคลีโอไทด์ของดีเอ็นเอแอปตาเมอร์หาโครงสร้างสามมิติ (ภาพที่ 2) พบว่า โครงสร้างที่ได้สามารถม้วนพับ ทบซ้อนทำให้เกิด loop และ hairpin ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีส่วนสำคัญในการจับกับสารเป้าหมายได้อย่างจำเพาะเจาะจง (Ellington & Szostak, 1992)



ภาพที่ 1 ค่าสเปกตรัมของอิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Impedance Spectroscopy: EIS) ของการทำปฏิกิริยาระหว่างดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ Car4 Car10 และ Car26 และสารมาตรฐานคาร์บาริล (ก) และดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ Cyp49 Cyp71 และ Cyp126 และสารมาตรฐานไซเพอร์เมทริน (ข)

ตารางที่ 1 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จำเพาะต่อสารคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทริน

แอปตาเมอร์	ลำดับเบส (5'- 3')
Car26	TAATACGACTCACTATAGCGGATCCGAGTAGGTTGGGGAAATTACATTCCATCCCTT AAACACTCACCTGGCTCGAACAAGCTTGCAAGCTTGAATTCTTT
Cyp126	TAATACGACTCACTATAGCGGATCCGACAAAACCTCAATGAACGATCTTCCTTCCAAGTC AAGTT AGCTGGCTCGAACAAGCTTGCAAGCTTGAATTCTTT

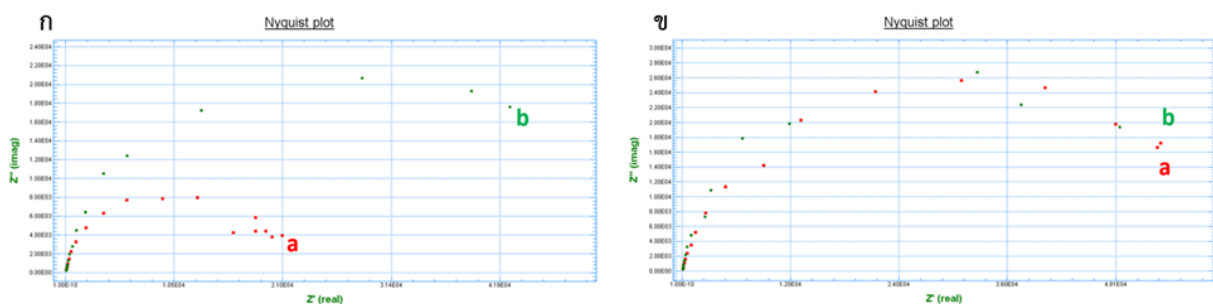


ภาพที่ 2 โครงสร้างทุติยภูมิของดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ที่จับกับคาร์บาริล Car26 (ก) และ ไซเพอร์เมทริน Cyp126 (ข) วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม RNAComposer

2. การพัฒนาชุดตรวจสอบคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทรินด้วยเทคนิค Electrochemical aptasensor

เทคนิค electrochemical aptasensor เป็นเทคนิคที่นำหลักการของเคมีไฟฟ้ามาใช้ในการวัดระดับของสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการจับกันระหว่างดีเอ็นเอแอปตาเมอร์กับเป้าหมาย ดังนั้นสารสกัดพืชผักที่นำมาใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช ละลายด้วย acetonitrile ซึ่งเมื่อหยอดลงบนขั้วไฟฟ้าที่มีดีเอ็นเอแอปตาเมอร์เคลือบอยู่ จะส่งผลโดยตรงต่อการจับของแอปตาเมอร์ ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงใช้น้ำกลั่นเจือจางสารสกัดพืชผักที่มีไซเพอร์เมทรินเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร 1:2 และ 1:4 พบว่า ค่า EIS ของสารสกัดจากพืชผักที่เจือจางด้วยน้ำ 1:2 มีค่าต่ำกว่าสารมาตรฐานไซเพอร์เมทริน เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 3ก) สะท้อนให้เห็นว่า การมี acetonitrile เข้มข้นใน

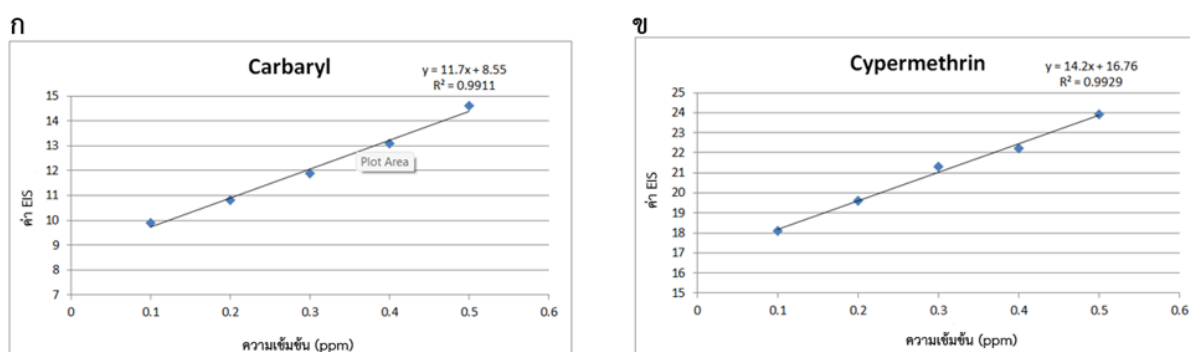
สารสกัดอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ และโมเลกุลเป้าหมาย (target molecule) บนพื้นผิวขั้วไฟฟ้า ในขณะที่ค่า EIS ของสารสกัดจากพืชผักที่เจือจางด้วยน้ำ 1:4 มีค่าใกล้เคียงกับสารมาตรฐานไซเพอร์เมทริน เข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นระดับเดียวกัน (ภาพที่ 3ข) แสดงให้เห็นว่าการลดความเข้มข้นของ acetonitrile ช่วยลดผลกระทบของตัวทำละลายต่อโครงสร้างของแอปตาเมอร์และการเกิดพันธะจำเพาะกับไซเพอร์เมทริน ได้อย่างมีนัยสำคัญ acetonitrile เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วสูง ซึ่งมักถูกใช้ในการสกัดสารกำจัดศัตรูพืชจากพืชผัก (QuEChERS extraction method) ซึ่งความเข้มข้นของ acetonitrile สูงเกินไปอาจรบกวนการพับตัว (folding) ของดีเอ็นเอแอปตาเมอร์และลดความเสถียรของโครงสร้างรอง (secondary structure) เช่น G-quadruplex หรือ hairpin loop ที่จำเป็นต่อการจับเป้าหมายอย่างจำเพาะ (Song et al., 2012) ส่งผลให้ค่าการตอบสนองทางไฟฟ้าลดลง การเจือจางด้วยน้ำในอัตรา 1 : 4 จึงมีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณ acetonitrile ที่อาจทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างเบสของดีเอ็นเอแอปตาเมอร์ และยังคงสภาพสมดุลของสภาพแวดล้อมทางไฟฟ้าเคมี ให้เหมาะสมต่อการถ่ายโอนประจุระหว่างพื้นผิวขั้วไฟฟ้าและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ลดผลกระทบจากเมทริกซ์ของพืชผัก (matrix effect) ซึ่งมักประกอบด้วยสารอินทรีย์ เช่น ฟีนอลิก หรือคลอโรฟิลล์ ที่อาจแทรกแซงสัญญาณการวัด นอกจากนี้ รายงานของ Zhou et al. (2019) พบว่า การมีอยู่ของตัวทำละลายอินทรีย์เช่น methanol หรือ acetonitrile มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ในระบบวิเคราะห์ด้วยเทคนิค electrochemical aptasensor จะทำให้สัญญาณไฟฟ้าลดลงชัดเจน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอปตาเมอร์และการรบกวนการเกิด electric double layer บนผิวอิเล็กโทรด ดังนั้น การเลือกใช้อัตราการเจือจางสารสกัดจากพืชผักด้วยน้ำกลั่นในอัตรา 1:4 จึงถือเป็นการปรับสมดุลระหว่างการคงความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชให้อยู่ในช่วงที่ตรวจวัดได้ และการลดผลกระทบของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีต่อการทำงานของแอปตาเมอร์ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการออกแบบระบบตรวจวัดด้วยแอปตาเซนเซอร์ทางเคมีไฟฟ้าที่มุ่งให้เกิดสัญญาณตอบสนองจำเพาะและมีความเที่ยงตรงสูง (Liu et al., 2021)



ภาพที่ 3 แผนภาพไนควิสต์ (Nyquist plot) ของการวิเคราะห์ ก) ไซเพอร์เมทรินเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรในสารสกัดจากพืชผักเจือจางด้วยน้ำ 1:2 (a) เปรียบเทียบกับไซเพอร์เมทรินเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (b) ข) ไซเพอร์เมทรินเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสารสกัดจากพืชผักเจือจางด้วยน้ำ 1:4 (a) เปรียบเทียบกับไซเพอร์เมทรินเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร (b)

การสร้างกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์คาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทริน ใช้สารสกัดจากพืชผักเป็นเมทริกซ์ โดยเติมสารมาตรฐานคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทรินให้มีความเข้มข้น 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองพบว่าค่า EIS ของคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทริน มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มข้นของคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทริน โดย มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตลอดช่วงความเข้มข้นที่ทดสอบที่ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปจนถึง 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของคาร์บาร์ลิด/ไซเพอร์เมทรินและค่า EIS ซึ่งมีลักษณะแบบเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) = 0.9911 และ 0.9929 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงความเที่ยงตรงของระบบเซนเซอร์และความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นสารกำจัดศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ปริมาณ (LOQ) จากผลการคำนวณ พบว่าค่า LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์คาร์บาริล เท่ากับ 0.049 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.149 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ค่า LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์ไซเพอร์เมทริน เท่ากับ 0.044 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.133 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่าค่า LOD ที่ได้จากงานนี้อยู่ในระดับ มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแม้จะสูงกว่าค่าที่รายงานโดย Liu et al. (2021) ที่ใช้ fluorescent aptasensor สำหรับการตรวจคาร์บาริลในน้ำและดิน ซึ่งมี LOD ต่ำเพียง 15.23 นาโนโมลต่อลิตร (ประมาณ 0.0035 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ใช้สารสกัดจากพืชผัก ซึ่งเป็นเมทริกซ์จริง ทำให้เกิดการรบกวนต่อสัญญาณการวัด จึงส่งผลให้ค่า LOD สูงกว่าการวิเคราะห์ในสารละลายมาตรฐานบริสุทธิ์ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทางเคมีมาตรฐาน เช่น HPLC หรือ GC-MS ซึ่งโดยทั่วไปสามารถให้ค่า LOD ในระดับ ไมโครกรัมต่อลิตร (Sindhu & Manickavasagan, 2023) ถึงแม้ว่า ค่า LOD ของเทคนิค electrochemical aptasensor ที่พัฒนาขึ้นนี้ ยังมีความไวต่ำกว่า แต่มีข้อได้เปรียบสำคัญในด้าน ความสะดวก รวดเร็ว และต้นทุนการวิเคราะห์ที่ต่ำกว่าอย่างมาก ทั้งในส่วนของเครื่องมือ สารเคมี และเวลาในการเตรียมตัวอย่าง (Phopin & Tantimongcolwat, 2020)



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์คาร์บาริล (ก) และไซเพอร์เมทริน (ข) ในสารสกัดจากพืชผัก

สรุปผล (Conclusion)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเทคนิค Electrochemical aptasensor สำหรับการตรวจวัดสารกำจัดศัตรูพืชชนิดคาร์บาริลและไซเพอร์เมทรินในสารสกัดจากพืชผัก โดยใช้ดีเอ็นเอแอปตามอร์ car26 สำหรับคาร์บาริล และดีเอ็นเอแอปตามอร์ cyp126 สำหรับไซเพอร์เมทริน ซึ่งเป็นสายดีเอ็นเอขนาด 100 นิวคลีโอไทด์ ใช้ตรวจสอบปริมาณสารคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทรินในสารสกัดพืชผัก โดยใช้สารสกัดพืชผักที่เจือจางด้วยน้ำ 1 : 4 เพื่อลดผลกระทบของตัวทำลายต่อการจับของแอปตามอร์บนขั้วไฟฟ้า ตรวจวัดด้วยเทคนิค Electrochemical aptasensor สามารถตรวจวัดสัญญาณความเข้มข้นของคาร์บาริล/ไซเพอร์เมทรินได้ เป็นเชิงเส้นในช่วงความเข้มข้น 0.1 – 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) สูงกว่า 0.99 ค่า LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์คาร์บาริล มีค่าเท่ากับ 0.049 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.149 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนไซเพอร์เมทรินมีค่า LOD เท่ากับ 0.044 มิลลิกรัมต่อลิตร และ LOQ เท่ากับ 0.133 มิลลิกรัมต่อลิตร

เทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีคือ ใช้งานง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีต้นทุนการวิเคราะห์ต่ำ เมื่อเทียบกับวิธีการทางเคมีมาตรฐาน อีกทั้งสามารถให้ผลการตรวจวัดเชิงปริมาณได้โดยตรงจึงมีศักยภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือคัดกรองสารตกค้างทางการเกษตรในภาคสนาม เพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของอาหารและสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว)

เอกสารอ้างอิง (Reference)

- Abu-Ali, H., Nabok A., and Smith, T.J. (2019). Development of Novel and Highly Specific ssDNA-Aptamer-Based Electrochemical Biosensor for Rapid Detection of Mercury (II) and Lead (II) Ions in Water. *Chemosensors*. 7(2), 27.
- Barthelmebe, L., Jonca, J., HayatA., Simon, B.P., and Marty, J.L. (2011). Enzyme-linked aptamer assays (ELAAs), based on a competition format for a rapid and sensitive detection of Ochratoxin A in wine. *Food Control*. 22,737-743.
- British Standards Institution (BSI). (2018). Foods of plant origin. Multimethod for the determination of pesticide residues using GC- and LC-based analysis following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE. Modular QuEChERS-method. 84 pp.
- Ellington, A.D., and Szostak, J.W. (1992). Selection in vitro of single-stranded DNA molecules that fold into specific ligand-binding structures. *Nature*. 355(6363), 850-852.
- Hall, B., Arshad, S., Seo, K., Bowman, C., Corley, M., Jhaveri, S.D., and Ellington, A.D. (2009). In vitro selection of RNA aptamers to a protein target by filter immobilization. *Current Protocols in Molecular Biology*. 24(3),1-27.
- Liu, M., Arshad, K., Zhifei, W., Yuan, L., Gaojian, Y., Yan, D., and Nongyue, H. (2019). Aptasensors for pesticide detection. *Biosensors and Bioelectronics*. 130, 174-184.
- Liu, Y., Yang, G., Li, T., Deng, Y., Chen, Z., and He, N. (2021). Selection of a DNA aptamer for the development of fluorescent aptasensor for carbaryl detection. *Chinese Chemical Letters*. 32(6), 1957–1962.
- Michaud, M., Jourdan, E., Villet,A., Ravel, A., Grosset, C., and Peyrin, E. (2003). A DNA Aptamer as a New Target-Specific Chiral Selector for HPLC. *Journal of the American Chemical Society*. 125 (28), 8672–8679.
- Naghshbandi, B., Adabi, M., Pooshang Bagheri, K., and Tavakolipour, H. (2022). Design of a new electrochemical aptasensor based on screen printed carbon electrode modified with gold nanoparticles for the detection of fumonisin B1 in maize flour. *Nanobiotechnology*. 20, 534.
- Phopin, K., and Tantimongcolwat, T. (2020). Pesticide Aptasensors—State of the Art and Perspectives. *Sensors*. 20(23), 6809.
- Shahdordizadeh, M., Yazdian-Robati, R., Ansari, N., Ramezani, M., Abnous, K., and Taghdisi S. M. (2018). An aptamer-based colorimetric lead (II) assay based on the use of gold nanoparticles modified with dsDNA and exonuclease I. *Microchimica Acta*. 185(2).
- Sindhu, S., and Manickavasagan, A. (2023). Nondestructive Testing Methods for Pesticide Residue in Food Commodities: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 22, 1226–1256.
- Song, K.M., Lee, S., and Ban, C. (2012). Aptamers and Their Biological Applications. *Sensors*. 12(12), 612–631.

- Tuerk, C., and Gold, L. (1990). Systematic evolution of ligands by exponential enrichment: RNA ligands to bacteriophage T4 DNA polymerase. *Science*. 249(4968), 505-510.
- Wang, L., Liu, X., Zhang, Q., Zhang, C., Liu, Y., Tu, K., and Tu, J.(2012). Selection of DNA aptamers that bind to four organophosphorus pesticides. *Biotechnology letters*. 34(5), 869-74.
- Wu, Y., Zhan, S., Wang, L., and Zhou, P. (2014). Selection of a DNA aptamer for cadmium detection based on cationic polymer mediated aggregation of gold nanoparticles. *The Analyst*. 139(6), 1550–1561.
- Zhou, L., Li, D., Hu, J., and Wang, H. (2019). Effect of organic solvents on electrochemical aptamer sensors for pesticide detection. *Electrochimica Acta*. 296, 221–229.
- Zhu, Y.F., Wang, Y.S., Zhou, B., Yu, J.H., Peng, L.L., Huang, Y.Q., and Wang, X.F. (2017). A multifunctional fluorescent aptamer probe for highly sensitive and selective detection of cadmium (II). *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 409(21), 4951–4958.

การพัฒนากำลังคนเพื่อศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยวสำหรับการพัฒนา และฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวอำเภูปาหารณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

Human Resource Development for Enhancing Tourism Resource Potential in the Development and Restoration of Tourist Attractions in Chulabhorn District, Nakhon Si Thammarat Province

สุรศักดิ์ ชูทอง¹ วัฒนา ณ นคร¹ สุวรรณษา ชูเช็ด¹ และจเรพร เพชรชิต^{1*}

Surasak Choothong¹ Wattana Na nakorn¹ Suwansa Chuchert¹ and Jareporn Phetchit^{1*}

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (ไสใหญ่) จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

¹ Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya (Sai Yai), Nakhon Si Thammarat Province 80110

* Corresponding author: E-mail: jareporn.p@rmutsv.ac.th Tel : 085-5735901

Received: July 15,2025;

Revised: Semtember 29, 2025;

Accepted: October 7, 2025

การพัฒนากำลังคนเพื่อศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยวสำหรับการพัฒนา และฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

Human Resource Development for Enhancing Tourism Resource Potential in the Development and Restoration of Tourist Attractions in Chulabhorn District, Nakhon Si Thammarat Province

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยว และพัฒนากำลังคนในการประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วม เพื่อออกแบบและพัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวที่สนับสนุนการฟื้นฟูและการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยว จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้วิธีวิจัยเชิงสำรวจ ผสมผสานข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจากกลุ่มตัวอย่างประชาชนจำนวน 250 คน อบรมเชิงปฏิบัติการ 5 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่า แหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่ เช่น ศิลาจารึกหุบเขาช่องคอย นบเขาตริก จุดชมวิวสามตาบล และอื่นๆ ส่วนใหญ่มีศักยภาพอยู่ในระดับปานกลาง และสามารถพัฒนาให้มีความโดดเด่นได้ ทั้งในด้านคุณค่าและความดึงดูดใจ การบริหารจัดการ และโอกาสในการพัฒนา นอกจากนี้การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อเสริมสร้างทักษะในการประเมินศักยภาพการเลือกใช้พรรณไม้ การตกแต่งภูมิทัศน์ การพัฒนาเส้นทางสื่อความหมาย และการดูแลรักษาภูมิทัศน์ ส่งผลให้ผู้เข้าร่วมมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ทั้งนี้ได้มีการจัดทำเส้นทางและโปรแกรมการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วม 2 โปรแกรมหลัก โดยอิงตามพิภพสถานที่จริง และคำนวณระยะเวลาเดินทางและเยี่ยมชมอย่างเหมาะสม การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การพัฒนากำลังคนในท้องถิ่นเป็นกลไกสำคัญในการส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน และสามารถเป็นต้นแบบให้กับชุมชนอื่นๆ ในการบริหารจัดการแหล่งท่องเที่ยวของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การพัฒนากำลังคน, การประเมินศักยภาพ, ทรัพยากรการท่องเที่ยว, แหล่งท่องเที่ยว, การมีส่วนร่วม

Abstract

This research aims to assess the potential of tourism resources and to enhance human resource capacity in participatory tourism resource assessment. The study further aims to design and develop tourism routes and interpretive programs that support the restoration and development of tourist attractions in Nakhon Si Thammarat Province. The study employed a mixed-method survey approach, integrating quantitative and qualitative data from a sample of 250 residents and conducting five practical training workshops. The findings revealed that most tourist sites in the area, such as the Inscription Stone at Chong Khoi Valley, Nop Khao Terik, and the Three Subdistrict Viewpoint, possess moderate potential and can be further developed to enhance their distinctiveness in terms of value, attractiveness, management, and development opportunities. Furthermore, the workshops aimed at strengthening skills in potential assessment, plant selection, landscape decoration, interpretive trail development, and landscape maintenance significantly improved participants' learning outcomes ($p < 0.01$). Additionally, two main participatory tourism routes and programs were designed based on actual location coordinates, with appropriately calculated travel and visiting times. This study demonstrates that local human resource development is a crucial mechanism for promoting sustainable tourism and can serve as a model for other communities to effectively manage their own tourist attractions.

Keywords: Capacity Building, Potential assessment, Tourism resources, Tourist attractions, Participation

บทนำ (Introduction)

การท่องเที่ยวถือเป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหลังวิกฤตการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ที่ผ่านมา ซึ่งทำให้ภาคการท่องเที่ยวทั่วโลกหยุดชะงัก แต่ขณะเดียวกันก็เป็นโอกาสสำคัญของการฟื้นฟูและยกระดับการพัฒนาท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในเมืองรองที่มีศักยภาพด้านทรัพยากรท้องถิ่นทั้งทางธรรมชาติ ประวัติศาสตร์ และวัฒนธรรม (การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2564)

จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมให้เป็นเมืองรอง เพื่อรองรับการกระจายรายได้จากการท่องเที่ยว โดยในปี 2560 มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างประเทศเดินทางเข้ามาจำนวน 334,151 คน และสร้างรายได้รวมถึง 1,722.75 ล้านบาท (สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2561) อำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่หนึ่งที่มีทรัพยากรการท่องเที่ยวที่หลากหลาย ทั้งเชิงวัฒนธรรม เช่น ศิลาจารึกหุบเขาช่องคอย และเชิงประวัติศาสตร์ เช่น อนุสรณ์สถานค่ายบางระจัน 2 และอนุสรณ์สถานบ้านอ่าวศรีเมือง รวมถึงแหล่งท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติ เช่น นบเขาตริก และเขาเขามทอง ซึ่งยังขาดการจัดการและพัฒนาอย่างเป็นระบบ แต่ปัญหาที่สำคัญคือขาดการมีส่วนร่วมของคนในท้องถิ่นในการบริหารจัดการแหล่งท่องเที่ยว และขาดการพัฒนากำลังคนให้มีความสามารถในการประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยว เพื่อพัฒนาอย่างยั่งยืน (สุทธา, 2563) ดังนั้นการมีส่วนร่วมของชุมชนในกระบวนการจัดการท่องเที่ยวโดยแนวคิดการท่องเที่ยวโดยชุมชน (Community-Based Tourism: CBT) เน้นการให้อำนาจแก่คนในท้องถิ่นในการบริหารจัดการ และเป็นเจ้าของทรัพยากรท่องเที่ยว ซึ่งช่วยเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนและสร้างผลประโยชน์อย่างเป็นธรรม (Goodwin & Santilli, 2009) ขณะเดียวกัน แนวคิด การท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (Sustainable Tourism) มุ่งเน้นความสมดุลระหว่างมิติทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างการพัฒนาที่ยั่งยืนและลดผลกระทบเชิงลบจากการท่องเที่ยว (UNWTO, 2018)

แม้จะมีงานศึกษาที่ให้ความสำคัญกับการจัดการโดยชุมชนและการพัฒนาอย่างยั่งยืน แต่ยังขาดการศึกษาที่เน้นการพัฒนาคนในระดับชุมชนเพื่อให้สามารถ ประเมิน วิเคราะห์ และจัดการทรัพยากรท้องถิ่นอย่างมีระบบ โดยเฉพาะในบริบทของอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีทรัพยากรการท่องเที่ยวที่มีศักยภาพสูงแต่ยังไม่ได้รับการบริหารจัดการอย่างบูรณาการ (อัญชลี, 2562) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีความสำคัญต่อการเชื่อมโยงแนวคิดด้านการพัฒนาคนกับการจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนเพื่อสนับสนุนการฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวให้มีคุณภาพและสอดคล้องกับอัตลักษณ์ของพื้นที่ในระยะยาว

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (Material and Methodology)

การศึกษานี้ใช้กรอบแนวคิดการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) ประกอบด้วยข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative data) และข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative data) ประชากรที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นประชาชนที่อาศัยในอ.จุฬาภรณ์ จ.นครศรีธรรมราช กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา เป็นประชาชนที่อาศัยในอ.จุฬาภรณ์ จ.นครศรีธรรมราช ที่เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการ จำนวน 5 ครั้ง ครั้งละไม่น้อยกว่า 50 คน รวมจำนวนทั้งสิ้น 250 คน เป็นตัวแทนประชากรที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. สํารวจและประเมินศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยว
2. จัดอบรมปฏิบัติการเพื่อพัฒนากำลังคนในการประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วม จำนวน 5 ครั้ง โดยการใช้เครื่องมือประเมินศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยว การเลือกใช้พรรณไม้ ศักยภาพพืชท้องถิ่นเพื่อการตกแต่งภูมิทัศน์ การจัดตกแต่งภูมิทัศน์ การพัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวชุมชน และการดูแลรักษาภูมิทัศน์
3. กำหนดสถานที่ท่องเที่ยวเพื่อพัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วมในการฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยว และจัดทำเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมาย

การตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

วิเคราะห์แบบทดสอบความรู้ก่อนและหลังที่ใช้อบรมเชิงปฏิบัติการเพื่หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบความรู้โดยการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย แต่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มเป้าหมาย สุ่มคัดเลือกเป็นตัวอย่าง จำนวน 30 คน แล้วนำมาหาความเชื่อมั่นของตัวชี้วัด (Reliability) โดยวิธีการวิเคราะห์รายข้อ (Item analysis) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องภายใน (Internal consistency) และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาด้วยสูตรของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) (ศิริชัย, 2543) การวิเคราะห์เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (ฉัตรศิริ, 2545) หากพบว่าตัวชี้วัดใดมีความเชื่อมั่นต่ำ จะพิจารณาตัดบางข้อคำถามออกไปเพื่อให้ค่าความเชื่อมั่นในแต่ละด้านสูงขึ้น

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. สํารวจและประเมินศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยว ประเมินศักยภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยวและพัฒนาแบบประเมินศักยภาพตามข้อเสนอแนะที่สอดคล้องกับพื้นที่ โดยใช้แบบประเมินประกอบด้วย 3 ด้าน ดังนี้ 1) ศักยภาพด้านคุณค่าและความดึงดูดใจของทรัพยากรการท่องเที่ยว 2) ศักยภาพด้านการบริหารจัดการแหล่งท่องเที่ยว 3) ศักยภาพด้านโอกาสในการพัฒนาการท่องเที่ยว
2. จัดเวทีชุมชนเพื่อแลกเปลี่ยน และเก็บรวบรวมความคิดเห็น เพื่อกำหนดสถานที่ท่องเที่ยวเพื่อพัฒนาเส้นทาง และโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วมในการฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยว และจัดทำเส้นทาง และโปรแกรมสื่อความหมายร่วมกับชุมชนทรัพยากรการท่องเที่ยวในท้องถิ่นแบบมีส่วนร่วม ได้แก่ ชุมชน หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชนในพื้นที่
3. จัดอบรมปฏิบัติการเพื่อพัฒนากำลังคน ในการประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วม จำนวน 5 ครั้ง โดยการใช้เครื่องมือประเมินศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยว การเลือกใช้พรรณไม้ ศักยภาพพืชท้องถิ่นเพื่อการตกแต่งภูมิทัศน์ การจัดตกแต่งภูมิทัศน์ การพัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวชุมชน และการดูแลรักษาภูมิทัศน์
4. ประเมินทดสอบความรู้การประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยวในท้องถิ่นของกลุ่มบุคคลเป้าหมาย
5. วางแผนจัดทำหลักสูตรระยะสั้น การวิเคราะห์ความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย
6. กำหนดผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (Expected Learning Outcome) ของหลักสูตรระยะสั้น
7. การออกแบบและกำหนดหัวข้อเนื้อหาของหลักสูตรระยะสั้น ดำเนินการจัดกระบวนการเรียนรู้ในหลักสูตรระยะสั้น
8. ประเมินผลการเรียนรู้ของกลุ่มบุคคลเป้าหมายในหลักสูตร และดำเนินการทวนสอบเพื่อเปรียบเทียบกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (Expected Learning Outcome) ของหลักสูตรระยะสั้น
9. วิเคราะห์และสรุปผล ผลการเรียนรู้จากหลักสูตรระยะสั้นเมื่อเทียบกับความรู้เดิมของกลุ่มบุคคลเป้าหมาย

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลส่วนนี้โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูปทางสังคมศาสตร์ โดยใช้สถิติดังต่อไปนี้

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) ประกอบด้วย 1) ค่าร้อยละ (Percentage) เพื่ออธิบายข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่เป็นข้อมูลระดับนามบัญญัติ (Nominal scale) และข้อมูลระดับมาตราอันดับ (Ordinal scale) 2) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เพื่ออธิบายข้อมูลระดับอัตราส่วน (Ratio scale)

2. สถิติเชิงอ้างอิง (Inferential statistics) เพื่อทดสอบสมมติฐาน

1) การทดสอบแบบที (T test) เพื่อใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างคะแนนของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน โดยใช้สถิติ แบบ Paired t-test กรณีข้อมูลระดับช่วง (Interval scale) และข้อมูลระดับอัตราส่วน (Ratio scale) (กัลยากรณ์, 2545)

2) จัดทำเมตริกกระยะทางของสถานที่ท่องเที่ยว โดยจัดทำตารางเมตริกสามารถนำจุดเริ่มต้นในการเดินทาง (D1) และสถานที่ท่องเที่ยว (T1-T8) มาสร้างตารางแล้วหารระยะทางหน่วยเป็นกิโลเมตร ภายใต้อำนาจจำกัดความเร็วในการขับขี่ไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หลังจากนั้นนำระยะทางเปลี่ยนเป็นระยะเวลาหน่วยเป็นนาที ให้พิจารณาระยะเวลาในการท่องเที่ยว 30 นาที

ผลและอภิปราย (Result and Discussion)

1. การสำรวจและประเมินศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยว เพื่อการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม และแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตร ในพื้นที่อำเภอจุฬาภรณ์ ได้แก่ ศิลาจารึกหุบเขาช่องคอย, อนุสรณ์สถานค่ายบางระจัน 2, ชายเขาชุมทอง, นบเขาตริก, จุดชมวิวสามตำบล, ไร่ธิดาวัลย์, ศูนย์การเรียนรู้ถ่ายทอดและผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทน เครือข่ายท่องเที่ยวเชิงเกษตร, อนุสรณ์สถานบ้านอ่าวศรีเมือง ส่วนการประเมินศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยวพบว่า ศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยวของแหล่งท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยวในระดับปานกลาง ได้แก่ ศิลาช่องคอย มีค่าคะแนน 3.24 รองลงมาคือ นบเขาตริก มีค่าคะแนน 3.21 จุดชมวิวสามตำบล มีค่าคะแนน 3.00 ชายเขาชุมทอง มีค่าคะแนน 2.93 อนุสรณ์สถานบ้านอ่าวศรีเมือง มีค่าคะแนน 2.90 อนุสรณ์สถานค่ายบางระจัน 2 มีค่าคะแนน 2.86 ไร่ธิดาวัลย์ มีค่าคะแนน 2.83 และศูนย์การเรียนรู้ถ่ายทอดและผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทน เครือข่ายท่องเที่ยวเชิงเกษตร จังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่าคะแนน 2.52 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อประเมินศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยว สามารถพิจารณาได้ว่าแหล่งท่องเที่ยวแต่ละสถานที่ยังสามารถพัฒนาให้มีความโดดเด่นได้เนื่องจากมีระดับค่าคะแนนประเมินศักยภาพการท่องเที่ยวอยู่ในระดับปานกลาง และสถานที่ท่องเที่ยวมีความพร้อมในด้านต่างๆ เช่น ศักยภาพด้านคุณค่าและความดึงดูดใจของทรัพยากรการท่องเที่ยว ศักยภาพด้านการบริหารจัดการแหล่งท่องเที่ยว ศักยภาพด้านโอกาสในการพัฒนาการท่องเที่ยว ทั้งนี้ยังมีหน่วยงานภาครัฐและสมาชิกในชุมชน ให้การสนับสนุนและให้ความร่วมมือในการช่วยพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่องได้

2. การพัฒนาคนในการประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วม เพื่อการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวชุมชน อำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าจากการพบปะพูดคุย ตัวแทนชุมชนกับกลุ่มต่างๆที่ปรากฏในพื้นที่อำเภอจุฬาภรณ์ ประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยว ร่วมกันร่างหลักสูตรกับผู้นำชุมชน เพื่อใช้ในการพัฒนาการท่องเที่ยวของชุมชนอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้หลักสูตรระยะสั้น สำหรับการส่งเสริมการท่องเที่ยวท้องถิ่น เรื่องการประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยว เพื่อการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวชุมชน พบว่าทุกภาคส่วนให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ทั้งหน่วยงาน

ระดับอำเภอ ระดับจังหวัด รวมถึงผู้นำในท้องถิ่น ที่เป็นกลุ่มบุคคลเป้าหมายที่จะมีส่วนร่วมว่ามิ โดยการทดสอบความรู้ว่าตัวแทนกลุ่มเป้าหมาย มีความรู้ในระดับใด จัดอบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตรระยะสั้น จำนวน 5 ครั้ง โดยมีประเด็น ด้านการใช้เครื่องมือประเมินศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยว การเลือกใช้พรรณไม้ ศักยภาพพืชท้องถิ่นเพื่อการตกแต่งภูมิทัศน์ การจัดตกแต่งภูมิทัศน์ การพัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวชุมชนและการดูแลรักษาภูมิทัศน์ โดยมีรายละเอียดดังนี้ การอบรมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1 เรื่องการใช้เครื่องมือการประเมินศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยว มีผลสัมฤทธิ์ทางการอบรมหลังจากการอบรมเชิงปฏิบัติการ สูงกว่าก่อนอบรมเชิงปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 มีคะแนนเฉลี่ยหลังอบรมเท่ากับ 18.24 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยก่อนการอบรมเชิงปฏิบัติการเท่ากับ 9.90 การอบรมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เรื่องการเลือกใช้พรรณไม้ และศักยภาพพืชท้องถิ่นเพื่อการตกแต่งภูมิทัศน์ มีผลสัมฤทธิ์ทางการอบรมหลังจากการอบรมเชิงปฏิบัติการ สูงกว่าก่อนอบรมเชิงปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 มีคะแนนเฉลี่ยหลังอบรมเท่ากับ 18.34 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยก่อนการอบรมเชิงปฏิบัติการเท่ากับ 10.20 คะแนน การอบรมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 เรื่องการจัดตกแต่งภูมิทัศน์ มีผลสัมฤทธิ์ทางการอบรมหลังจากการอบรมเชิงปฏิบัติการ สูงกว่าก่อนอบรมเชิงปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 มีคะแนนเฉลี่ยหลังอบรมเท่ากับ 18.58 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยก่อนการอบรมเชิงปฏิบัติการเท่ากับ 9.36 การอบรมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 เรื่องการพัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวชุมชน มีผลสัมฤทธิ์ทางการอบรมหลังจากการอบรมเชิงปฏิบัติการ สูงกว่าก่อนอบรมเชิงปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 มีคะแนนเฉลี่ยหลังอบรมเท่ากับ 18.26 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยก่อนการอบรมเชิงปฏิบัติการเท่ากับ 9.82 คะแนน การอบรมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 5 เรื่องการดูแลรักษาภูมิทัศน์ มีผลสัมฤทธิ์ทางการอบรมหลังจากการอบรมเชิงปฏิบัติการ สูงกว่าก่อนอบรมเชิงปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 มีคะแนนเฉลี่ยหลังอบรมเท่ากับ 18.26 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยก่อนการอบรมเชิงปฏิบัติการเท่ากับ 10.02 คะแนน จากการฝึกอบรมดังกล่าว ทั้ง 5 ครั้ง ในส่วนการใช้เครื่องมือประเมินศักยภาพทรัพยากรการท่องเที่ยว มีส่วนทำให้คนในท้องถิ่นได้มีส่วนร่วมในการจัดการทรัพยากรการท่องเที่ยวของตนเอง มีความพร้อมด้านทรัพยากรการท่องเที่ยว แหล่งท่องเที่ยวที่ได้รับการพัฒนาในอนาคต ซึ่งคนเป็นหัวใจหลักในการพัฒนาและการพัฒนาคนด้านการประเมินทรัพยากรการท่องเที่ยว เพื่อการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวชุมชนจะเป็นต้นแบบให้ชุมชนอื่นได้พัฒนาการท่องเที่ยวโดยรวมของอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราชต่อไป

3. พัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วมในการฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยวอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช จากการศึกษาข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวเพื่อพัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วมในการฟื้นฟูแหล่งท่องเที่ยว อำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ทั้งหมด 8 แห่ง ซึ่งหลังจากนั้นนำมาหาพิกัดสถานที่ท่องเที่ยวด้วย Google Map ซึ่งพบว่าที่ท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยม ได้แก่ ศาลาช่องคอย นบเขาตริก จุดชมวิวดำบล ชายเขาชุมทอง อนุสรณ์สถานบ้านอ่าวศรีเมือง อนุสรณ์สถานค่ายบางระจัน 2 ไร่ธิดาวัลย์ ศูนย์การเรียนรู้ถ้ำทอดและผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 พิกัดสถานที่ท่องเที่ยวในอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

รหัส	ชื่อสถานที่ท่องเที่ยว	พิกัดสถานที่ท่องเที่ยว (Latitude, Longitude)	
		ละติจูด	ลองจิจูด
T1	ศิลาช่องคอย	8.380235639178302	99.72163492675598
T2	นบเขาตริก	8.134664758792434	99.82603805322894
T3	จุดชมวิวิสามตาบล	8.089323479251807	99.81155003956854
T4	ชายเขาชุมทอง	8.132714249126472	99.86842001317353
T5	อนุสรณ์สถานบ้านอ่าวศรีเมือง	8.034591475515680	99.81354927633159
T6	อนุสรณ์สถานค่ายบางระจัน 2	8.123702708251805	99.80139864149103
T7	ไร่ธิดาวัลย์	8.109399598428533	99.87377066970680
T8	ศูนย์การเรียนรู้ถ่ายทอดและผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทน	8.040648646098566	99.88852394461001

เมื่อทราบสถานที่ท่องเที่ยวและพิกัดเส้นทางในการท่องเที่ยวแล้วนำมาหาระยะทางระหว่างสถานที่และมีจุดเริ่มต้นในการเดินทาง และจุดสิ้นสุดการเดินทางที่ทำอากาศยานนานาชาตินครศรีธรรมราช โดยใช้ Google Map ในการหาระยะทางดังกล่าวผลการจัดทำตารางเมตริกยะทาง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เมตริกยะทางระหว่างสถานที่ท่องเที่ยวทั้ง 8 แห่ง (หน่วย : กิโลเมตร)

	D1	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
D1		58.30	66.80	68.20	53.40	76.40	54.70	58.50	70.00
T1	58.30		20.50	1.90	18.10	12.30	25.10	14.00	23.10
T2	66.80	20.50		18.90	7.30	24.00	7.20	9.10	20.60
T3	68.20	1.90	18.90		16.40	10.40	23.20	12.00	21.20
T4	53.40	18.10	7.30	16.40		20.90	14.20	7.30	16.40
T5	76.40	12.30	24.00	10.40	20.90		15.50	18.40	11.70
T6	54.70	25.10	11.30	23.20	14.20	15.50		17.80	29.30
T7	58.50	14.00	9.10	12.00	7.30	18.40	17.80		15.20
T8	70.00	23.10	20.60	21.20	16.40	11.70	29.30	15.20	

จากนั้นนำมาเปลี่ยนแปลงให้เป็นเมตริกยะเวลา (หน่วย : นาที) ในการท่องเที่ยวกำหนดให้มีเวลาในการท่องเที่ยวต่อ 1 วัน การเยี่ยมชมในแต่ละสถานที่ท่องเที่ยวใช้เวลาประมาณที่ละ 30 นาที โดยไม่พิจารณาเวลาในการหยุดพัก หรือรับประทานอาหารกำหนดให้มีการใช้ยานพาหนะในการท่องเที่ยวคือรถยนต์ที่มีอัตราความเร็วอยู่ที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งในการจัดเส้นทางโปรแกรมเส้นทางท่องเที่ยวพบว่าเงื่อนไขในการท่องเที่ยว ได้แก่ ระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยวแต่ละสถานที่เท่ากับ 30 นาที โดยการคำนวณระยะเวลาในตารางเมตริกเป็นไปตามสมการ [(ระยะทาง กิโลเมตร *60นาที)/80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง] + 30 นาที= ระยะเวลาท่องเที่ยวเป็นนาที (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 เมตริกระยะเวลาในการท่องเที่ยวทั้ง 8 แห่ง (หน่วย :นาทื)

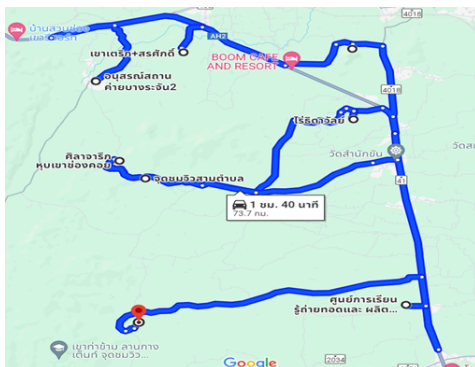
	D1	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
D1		73.73	80.10	81.15	70.05	87.30	71.03	73.88	82.50
T1	73.73		45.38	31.43	43.58	39.23	48.83	40.50	47.33
T2	80.10	45.38		44.18	35.48	48.00	35.40	36.83	45.45
T3	81.15	31.43	44.18		42.30	37.80	47.40	39.00	45.90
T4	70.05	43.58	35.48	42.30		45.68	40.65	35.48	42.30
T5	87.30	39.23	48.00	37.80	45.68		41.63	43.80	38.78
T6	71.03	48.83	38.50	47.40	40.65	41.63		43.35	51.98
T7	73.88	40.50	36.83	39.00	35.48	43.80	43.35		41.40
T8	82.50	47.33	45.45	45.90	42.30	38.78	51.98	41.40	

โดยในการจัดเส้นทางตามความเหมาะสมกับสถานที่และระยะเวลา มีจำนวนทั้งสิ้น 2 โปรแกรม (ตารางที่ 4)

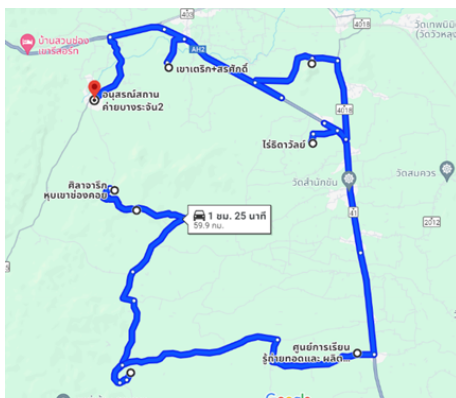
ตารางที่ 4 ผลการจัดเส้นทางโปรแกรมเส้นทางการท่องเที่ยว

โปรแกรมที่ 1				โปรแกรมที่ 2			
ลำดับ	สถานที่	ระยะทาง (ก.ม)	ระยะเวลา (นาทื)	ลำดับ	สถานที่	ระยะทาง (ก.ม)	ระยะเวลา (นาทื)
D1	สนามบินนานาชาติ นครศรีธรรมราช			D1	สนามบินนานาชาติ นครศรีธรรมราช		
T6	อนุสรณ์สถานค่ายบางระจัน 2	54.70	71.03	T3	จุดชมวิวิสามตาบล	68.20	81.15
T2	นบเขาตริก	11.30	38.50	T1	ศิลาช่องคอย	1.90	31.43
T4	ชายเขาชุมทอง	7.30	35.48	T5	อนุสรณ์สถานบ้าน อ่าวศรีเมือง	12.30	39.23
T7	ไร้ดิดาวลัย์	14.20	35.48	T8	ศูนย์การเรียนรู้ ถ่ายทอดและผลิต เทคโนโลยีพลังงาน ทดแทน	11.70	38.78
T3	จุดชมวิวิสามตาบล	9.10	39.00	T7	ไร้ดิดาวลัย์	15.20	41.40
T1	ศิลาช่องคอย	1.90	31.43	T4	ชายเขาชุมทอง	7.30	35.48
T8	ศูนย์การเรียนรู้ถ่ายทอดและ ผลิตเทคโนโลยีพลังงาน ทดแทน	23.10	47.33	T2	นบเขาตริก	7.30	35.48
T5	อนุสรณ์สถานบ้านอ่าวศรีเมือง	11.70	38.78	T6	อนุสรณ์สถานค่าย บางระจัน 2	7.20	35.40
D1	สนามบินนานาชาติ นครศรีธรรมราช	76.40	87.30	D1	สนามบินนานาชาติ นครศรีธรรมราช	54.70	71.03
รวม		209.70	424.33	รวม		185.80	409.38

สรุปผลการจัดเส้นทาง นำข้อมูลในตารางมาจัดเส้นทางโปรแกรมเส้นทางการท่องเที่ยว มีจุดเริ่มต้นในการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทางที่ทำอากาศยานนานาชาตินครศรีธรรมราช โดยใช้ Google Map (ภาพที่ 1) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 การจัดเส้นทางตามโปรแกรมเส้นทางการท่องเที่ยวที่ 1



ภาพที่ 2 การจัดเส้นทางตามโปรแกรมเส้นทางการท่องเที่ยวที่ 2

4. การวัดประเมินผลการเรียนรู้ตามทฤษฎีของบลูม (Bloom's Taxonomy)

ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain) ได้แก่ การจดจำ (Remembering) ผู้เข้าอบรมสามารถแยกประเด็นเกณฑ์การประเมิน ตัวชี้วัดในการใช้เครื่องมือการประเมินศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยวได้ การทำความเข้าใจ (Understanding) ผู้เข้าอบรมสามารถอธิบาย ทำความเข้าใจเกณฑ์การประเมิน และสามารถสรุปประเด็นศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยว การประยุกต์ใช้ (Applying) ผู้เข้าอบรมสามารถใช้เครื่องมือการประเมินศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยวในพื้นที่ และสามารถนำความรู้จากการอบรมมาพัฒนาแหล่งท่องเที่ยว สามารถใช้โปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวชุมชน และสามารถนำความรู้จากการอบรมมาพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวในชุมชนของตนเองการวิเคราะห์ (Analyzing) ผู้เข้าอบรมสามารถอธิบายให้เห็นภาพศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยวในพื้นที่ และผู้เข้าอบรมทุกคนร่วมกันวิพากษ์วิจารณ์เพื่อพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวให้มีความยั่งยืน การประเมิน (Evaluating) ผู้เข้าอบรมสามารถตัดสินใจเลือกแหล่งท่องเที่ยวที่เป็นจุดเด่นในพื้นที่ได้เลือกพืชพันธุ์ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ตกแต่งภูมิทัศน์ เลือกพัฒนาเส้นทางและโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวชุมชนได้อย่างเหมาะสม โดยการตัดสินใจจากผู้มีส่วนร่วม การสร้างสรรค์ (Creating) ผู้เข้าอบรมสามารถประเมินตนเองว่าสามารถฝึกปฏิบัติหลังจากอบรมได้หรือไม่ และต้องปรับปรุงเรื่องอะไร

ด้านทักษะพิสัย (Psychomotor Domain) ได้แก่ เลียนแบบ ผู้เข้าอบรมมีการสังเกตหรือดูวิดีโอสามารถใช้เครื่องมือการประเมินศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยวได้ เลือกพืชพันธุ์ สามารถจัดตกแต่งภูมิทัศน์ได้เหมาะสมกับการนำมาใช้ สามารถออกแบบเส้นทาง และโปรแกรมสื่อความหมายการท่องเที่ยวชุมชนได้ และสามารถดูแลรักษาภูมิทัศน์แหล่งท่องเที่ยวชุมชนได้ ทำให้ถูกต้อง สามารถปฏิบัติได้อย่างถูกต้องและปลอดภัยอย่างต่อเนื่อง สามารถเรียนรู้วิธีการทำถูกต้องตามขั้นตอนตั้งแต่ต้นจนเสร็จทำได้อย่างเป็นธรรมชาติ สามารถปฏิบัติได้อย่างมืออาชีพ

สรุปผล (Conclusion)

ผลการวิจัยพบว่า แหล่งท่องเที่ยวในอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนใหญ่มีศักยภาพอยู่ในระดับปานกลาง ทั้งในด้านคุณค่าและความดึงดูดใจ การบริหารจัดการแหล่งท่องเที่ยว และโอกาสในการพัฒนา โดยแหล่งที่มีค่าคะแนนสูงสุด ได้แก่ ศิลาจารึกหุบเขาช่องคอย (3.24) และนบเขาตริก (3.21) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความพร้อมของทรัพยากรในระดับหนึ่ง และมีโอกาสที่จะได้รับการพัฒนาให้เกิดความโดดเด่นและรองรับนักท่องเที่ยวได้ในอนาคต ทั้งนี้สอดคล้องกับแนวคิดของนงเยาว์ (2563) กล่าวว่า แหล่งท่องเที่ยวในเมืองรองจำนวนมากมีศักยภาพเชิงทรัพยากรอยู่แล้ว แต่ขาดระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพและขาดความรู้ของคนในพื้นที่ การวิเคราะห์ศักยภาพแสดงให้เห็นว่าแม้แหล่งท่องเที่ยวบางแห่งจะมีภูมิทัศน์ทางธรรมชาติที่โดดเด่นหรือมีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ แต่กลับมีข้อจำกัดด้านการเข้าถึง สาธารณูปโภค หรือสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งส่งผลให้คะแนนรวมอยู่ในระดับปานกลาง เช่น อนุสรณ์สถานค่ายบางระจัน 2 และไร่ธิดาวัลย์ ซึ่งสอดคล้องกับ ธัญชนก (2565) กล่าวว่า ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐาน และการสื่อความหมายเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรับรู้คุณค่าของแหล่งท่องเที่ยวโดยตรง

ด้านการพัฒนากำลังคน ผลจากการอบรมเชิงปฏิบัติการทั้ง 5 หัวข้อ พบว่าผู้เข้าร่วมมีความรู้และทักษะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยเฉพาะในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือประเมินทรัพยากร และการจัดการภูมิทัศน์ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของคนในชุมชนในการเป็นผู้ประเมินและจัดการทรัพยากรได้อย่างมีส่วนร่วมและเป็นระบบสอดคล้องกับแนวคิดของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช., 2564) ที่เน้นย้ำว่า การพัฒนาท้องถิ่นที่ยั่งยืนต้องเกิดจากการพัฒนาคนให้มีทักษะในการบริหารจัดการ และตัดสินใจร่วมกับหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน นอกจากนี้การออกแบบ เส้นทางและโปรแกรมการท่องเที่ยวแบบมีส่วนร่วม โดยอิงจากข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์จริง พร้อมการคำนวณระยะเวลาในการเดินทาง ทำให้สามารถกำหนดเส้นทางการท่องเที่ยวที่เหมาะสมกับข้อจำกัดของพื้นที่และระยะเวลา สอดคล้องกับ กรมการท่องเที่ยว (2565) กล่าวว่า การวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ (GIS-based route planning) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงแหล่งท่องเที่ยว และยกระดับประสบการณ์ของนักท่องเที่ยว โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความหลากหลายของทรัพยากรแต่ขาดแผนการเชื่อมโยงที่เป็นระบบ

การอบรมในครั้งนี้ไม่ได้เพียงแต่ให้ความรู้แบบทฤษฎี แต่มีการลงมือปฏิบัติในระดับพื้นที่จริง และจัดทำโปรแกรมเส้นทางร่วมกันกับชุมชน ซึ่งเป็นตัวอย่างของแนวทางการมีส่วนร่วมแบบลึก (Deep Participation) ตามแนวคิดของ สมศักดิ์ (2563) ที่ระบุว่า การพัฒนาที่ยั่งยืนต้องเริ่มจากฐานรากของชุมชน โดยให้คนในพื้นที่เป็นเจ้าของแนวคิด และกลายเป็นผู้ปฏิบัติจริงในทุกขั้นตอน การวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การพัฒนากำลังคนในท้องถิ่นโดยอิงกับบริบทของพื้นที่เป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างการมีส่วนร่วมอย่างแท้จริง และสามารถนำไปสู่การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง (Reference)

- กัลยากรณ์ วานิชย์บัญชา. (2545). การวิเคราะห์สถิติ: สำหรับการวิจัย (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชีระฟิล์มและไซเท็กซ์.
- การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2564). รายงานสถานการณ์ท่องเที่ยวภายในประเทศ. กรุงเทพฯ: กองวางแผน.
- กรมการท่องเที่ยว. (2565). แนวทางการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยี GIS. กรุงเทพฯ: สำนักพัฒนาแหล่งท่องเที่ยว.

- ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. (2545). สถิติสำหรับการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.
- ชั้นยชนก ปรีดาร์ตน์. (2565). การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้คุณค่าของนักท่องเที่ยวต่อแหล่งท่องเที่ยวในภาคใต้. วารสารวิจัยการท่องเที่ยวไทย, 18(1), 55–72.
- นงเยาว์ วัฒนสุขสันต์. (2563). การพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวโดยชุมชนในพื้นที่เมืองรอง. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต, 8(2), 77–90.
- ศิริชัย พงษ์วิชัย. (2543). การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมศักดิ์ สุขวงศ์. (2563). การมีส่วนร่วมของชุมชนกับการจัดการทรัพยากรท้องถิ่น. วารสารวิจัยสังคม, 22(3), 41–58.
- สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดนครศรีธรรมราช. (2561). สถิตินักท่องเที่ยวและรายได้จากการท่องเที่ยวจังหวัดนครศรีธรรมราช.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2564). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570). กรุงเทพฯ: สศช.
- สุทธา กิจไพศาล. (2563). การมีส่วนร่วมของชุมชนกับการจัดการแหล่งท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน. วารสารวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อม, 22(1), 45–60.
- อัญชลี สุทธิมณี. (2562). แนวทางการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต, 7(3), 25–34.
- Goodwin, H., & Santilli, R. (2009). Community-based tourism: A success? International Centre for Responsible Tourism. Retrieved from <https://www.icrtourism.org>
- United Nations World Tourism Organization. (UNWTO) (2018). Tourism and the sustainable development goals Journey to 2030. UNWTO. <https://doi.org/10.18111/9789284419401>

การประเมินผลผลิตและผลตอบแทนของการผลิตมันสำปะหลังภายใต้ระบบ การจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ

Evaluation of Yield and Profit of Cassava Production under Precision Water and Fertilizer Management System

ฐิติพร มะชิโกวา^{1*} นิรุจน์ คำจุมพล¹ สุชานันท์ พุทธเจริญผล¹ ดวงกมล เดชดอน¹ พรอนันต์ เอี่ยมขจรชัย²
และสุดชล วุ่นประเสริฐ¹

Thitiporn Machikowa^{1*}, Nirut Kamchumpol¹, Suchanan Putthacharoenphol¹,
Duangkamon Dechdorn¹, Porn-anant Iamkhajornchai² and Sodchol Wonprasaid¹

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

² สำนักวิทยาศาสตร์และศิลปดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ School of Crop Production Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

² Institute of Digital Arts and Science, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

* Corresponding author: E-mail: machiko@sut.ac.th Tel : 0-44224579

Received: August 2, 2025;

Revised: September 23, 2025;

Accepted: October 7, 2025

การประเมินผลผลิตและผลตอบแทนของการผลิตมันสำปะหลังภายใต้ระบบ การจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ

Evaluation of Yield and Profit of Cassava Production under Precision Water and Fertilizer Management System

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลผลิต คุณภาพผลผลิต และผลตอบแทนของการผลิตมันสำปะหลังภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ เปรียบเทียบกับระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร การทดสอบดำเนินการในแปลงเกษตรกรจังหวัดนครราชสีมาจำนวน 10 แปลง โดยแต่ละแปลงมีพื้นที่ในช่วง 5–10 ไร่ และมีชนิดของดินแตกต่างกัน ได้แก่ ดินร่วนเหนียว ดินเหนียว ดินร่วนทราย ทุกแปลงปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 และให้น้ำแบบน้ำหยดตลอดระยะเวลาการปลูก ใช้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ย 2 วิธี ได้แก่ T1: ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ และ T2: ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิต รวมถึงผลตอบแทนจากการผลิตมันสำปะหลังจากทั้งสองระบบ ผลการศึกษาพบว่ามันสำปะหลังในระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำมีผลผลิตเฉลี่ย 6.91 ตันต่อไร่ และเปอร์เซ็นต์แป้ง 24.74 % ซึ่งสูงกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรที่มีผลผลิตเฉลี่ย 5.02 ตันต่อไร่ และเปอร์เซ็นต์แป้ง 23.17 % คิดเป็นผลผลิตและแป้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 40.37 และ 7.07 สำหรับผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนพบว่า ต้นทุนการผลิตของทั้ง 2 ระบบแตกต่างกันทางสถิติ (การจัดการแบบแม่นยำมีต้นทุนการผลิต 11,211 บาทต่อไร่ และการจัดการตามวิธีเกษตรกรมีต้นทุนการผลิต 12,198 บาทต่อไร่) แต่ระบบให้รายได้เฉลี่ย 15,915 บาทต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกรที่มีรายได้ 10,848 บาทต่อไร่ นอกจากนี้ ผลตอบแทนเฉลี่ยของระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ 4,704 บาท/ไร่ ขณะที่ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรขาดทุน 1,350 บาทต่อไร่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำในการเพิ่มผลผลิต และคุณภาพผลผลิต ในการผลิตมันสำปะหลัง

คำสำคัญ: เกษตรแม่นยำ, ระบบน้ำหยด, การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน, เกษตรกรรายย่อย

Abstract

The research evaluated the yield, quality, and economic profitability of cassava when precision water and fertilizer management were compared with farming practices. The experiment was conducted in Nakhon Ratchasima Province in 10 farmer fields, which spanned 5–10 rai with different soil textures (clay loam, clay, and sandy loam soils). Cassava cultivar ‘Rayong 72’ was planted across all fields, with drip irrigation providing a water supply. Two water and fertilizer management practices were compared (T1: The precision management, T2: Farmer practice). These systems were compared in terms of their effects on cassava growth, yield, starch content, and production profitability. The results revealed that precision management produced 6.91 tons/rai of cassava with 24.74% starch content, which exceeded the farmer practice output of 5.02 tons/rai with 23.17% starch. The tuber yield from precision management increased by 40.37% and starch content rose by 7.07% compared to farmer practice. The production costs between these systems did not show any significant statistical difference (T1 = 11,211 THB/rai; T2 = 12,198 THB /rai). The income generated by precision management reached 15,915 THB/rai, whereas farmer practice produced 10,848 THB/rai. The precision management produced a net profit of 4,704 THB/rai, but farmer practice resulted in a net loss of 1,350 THB/rai. The research demonstrates that precision water and fertilizer management lead to improved cassava yield and quality, as well as enhanced economic performance.

Keywords: Precision agriculture, Drip fertigation, Cost-benefit analysis, Smallholder farmer

บทนำ (Introduction)

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากประเทศเป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิต และส่งออกมันสำปะหลังรายใหญ่ของโลก โดยมีพื้นที่ปลูกมากกว่า 8 ล้านไร่ต่อปี และผลผลิตรวมมากกว่า 30 ล้านตันต่อปี อีกทั้งประเทศไทยยังเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่สำคัญ เช่น แป้งมันสำปะหลัง มันเส้น มันอัดเม็ด ซึ่งสร้างรายได้ให้แก่ประเทศ (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, 2568) นอกจากนี้ มันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ในการผลิตพลังงานชีวภาพได้ มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปรับตัวได้ดี สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ผลผลิตเฉลี่ยในประเทศไทยยังคงอยู่ที่ประมาณ 3.50 ตันต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าศักยภาพสูงสุดของของมันสำปะหลังที่สามารถให้ผลผลิตได้ถึง 7–8 ตันต่อไร่ (Polthance & Srisutham, 2018; FAO, 2021) สาเหตุหลักมาจากพื้นที่ปลูกพืชนี้ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีลักษณะของดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินหยาบ และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีน้อยกว่าพื้นที่อื่น แม้มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และทนแล้งได้ดี แต่หากเกษตรกรมีการจัดการที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะการจัดการน้ำและปุ๋ย (Ezui et al., 2016) จะส่งผลให้ผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้รับลดลง ยิ่งไปกว่านั้น เกษตรกรจำนวนมากยังคงใส่ปุ๋ยโดยไม่พิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน และมีการให้น้ำตามประสบการณ์ส่วนบุคคลมากกว่าการใช้ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้การใช้ทรัพยากรไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น และเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การชะล้างธาตุอาหาร ความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน (Burns et al., 2010; Vanlauwe et al., 2014) ดังนั้น การจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ การผลิต โดยสามารถปรับปริมาณการให้ปุ๋ยและน้ำให้เหมาะสม กับระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและการให้น้ำตามความต้องการของพืช (โดยคำนึงถึงอายุของพืช ชนิดของดินและสภาพแวดล้อม) เป็นการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมปริมาณ และความถี่ในการให้น้ำให้สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริงของพืช ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Use Efficiency, WUE) ในส่วนของการให้ปุ๋ยนั้น การกำหนดสูตรปุ๋ยให้เหมาะสมกับความต้องการของมันสำปะหลัง โดยอ้างอิงจากค่าวิเคราะห์ดินรายแปลงถือเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการแบบแม่นยำ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร (Nutrient Use Efficiency, NUE) ลดต้นทุนการผลิต และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Chien et al., 2009; Gebbers & Adamchuk, 2010) โดยการให้ปุ๋ยในรูปแบบที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เช่น การให้ปุ๋ยผ่านระบบน้ำหยด (Drip fertigation) เป็นเทคโนโลยีที่ผสานการให้น้ำและปุ๋ยเข้าด้วยกันโดยละลายปุ๋ยในน้ำแล้วส่งผ่านระบบหยดน้ำลงสู่รากพืชโดยตรง ซึ่งช่วยให้อัตราการให้ธาตุอาหารแก่พืชมีความสม่ำเสมอ และสอดคล้องกับความต้องการของพืชในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต (López-Bellido et al., 2005) สำหรับมันสำปะหลังนั้น เป็นพืชที่มีความต้องการไนโตรเจนสูงในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโต และต้องการโพแทสเซียมสูงในช่วงสร้างหัวและสะสมแป้ง (Howeler, 2018) ทั้งนี้ การควบคุมระบบน้ำหยดตามค่าการคายน้ำของพืช (ETc) และปริมาณความชื้นในดิน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำได้มากถึงร้อยละ 30–50 และลดปริมาณการใช้น้ำลงได้ถึงร้อยละ 20–60 (Ayars et al., 1999; Kaushal et al., 2012) แม้เทคโนโลยีดังกล่าวมีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต แต่การยอมรับในระดับเกษตรกรยังมีข้อจำกัด เนื่องจากต้นทุนเริ่มต้นสูง ความจำเป็นในการใช้ความรู้ทางเทคนิคและการประเมินความคุ้มค่าของการนำไปใช้ในพื้นที่ปลูก เนื่องจากการคำนวณการให้น้ำและปุ๋ยที่เหมาะสมกับมันสำปะหลังทำได้ยาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณรูปแบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ โดยใช้หลักการให้น้ำและปุ๋ยตามความต้องการของพืช และให้ตามระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง นอกจากนี้

การให้ปุ๋ยแบบแม่นยำยังแตกต่างจากวิธีปฏิบัติของเกษตรกรทั่วไปเป็นการให้ปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดีไปในระบบน้ำหยดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ปุ๋ย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลผลิต คุณภาพผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้น้ำและปุ๋ยในมันสำปะหลัง รวมถึงผลตอบแทนเมื่อผลิตมันสำปะหลังภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำโดยใช้หลักการสมดุลน้ำ (Water balance) เปรียบเทียบกับวิธีการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร เพื่อยกระดับผลผลิตและคุณภาพผลผลิตมันสำปะหลัง และเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรรายย่อย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (Material and Methodology)

พื้นที่ทดลองและการเก็บตัวอย่างดิน การทดลองดำเนินการในพื้นที่ของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังจำนวน 10 แปลงในจังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลังจำนวนมาก โดยแต่ละแปลงมีขนาดพื้นที่อยู่ในช่วง 5–10 ไร่ เริ่มปลูกมันสำปะหลังในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ก่อนการปลูกมันสำปะหลัง ได้มีการสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากแต่ละแปลงตามวิธีมาตรฐาน (Anderson & Ingram, 1994) เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ เนื้อดิน (เพื่อกำหนดการให้น้ำหยดที่เหมาะสมตามชนิดของดิน) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avai. P) โพแทสเซียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exc. K, Ca) ซึ่งผลการวิเคราะห์ดินใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมเฉพาะสำหรับแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้ ในการทดลองแต่ละแปลงได้เปรียบเทียบบระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยภายใต้ระบบน้ำหยด 2 วิธี ได้แก่ T1 ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ โดยให้น้ำตามหลักสมดุลน้ำ และให้ปุ๋ยทางระบบน้ำตามผลการวิเคราะห์ดิน T2 ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร

พันธุ์และการปลูกมันสำปะหลัง มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองทั้ง 10 แปลงเป็นพันธุ์ระยอง 72 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันโดยส่วนใหญ่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือก่อนปลูกมีการเตรียมดินโดยการไถพรวน 2 ครั้ง และยกร่องปลูกกว้าง 100 เซนติเมตร ใช้ท่อนพันธุ์ความยาว 15–20 เซนติเมตร ระยะปลูก 1 × 1 เมตร สำหรับการควบคุมวัชพืชดำเนินการโดยพ่นสารคุมวัชพืชอัตรา 500 มิลลิกรัมต่อน้ำ 60 ลิตร ก่อนวัชพืชงอก หลังจากนั้นจัดการน้ำและให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่กำหนด

ระบบน้ำหยด แปลงทดลองทั้งหมดติดตั้งระบบน้ำหยด โดยใช้เทปน้ำหยดที่มีระยะห่างระหว่างหัวหยด 30 เซนติเมตร และมีอัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้ท่อประธานขนาด 63 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถจ่ายน้ำได้ประมาณ 17,488 ลิตรต่อชั่วโมง ติดตั้งระบบกรองน้ำเพื่อกรองสิ่งสกปรกก่อนจ่ายน้ำ และแบ่งโซนการให้น้ำออกเป็นพื้นที่ละ 2–2.5 ไร่ (ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่) โดยแต่ละแนวของเทปน้ำหยดมีความยาวไม่เกิน 100 เมตร เพื่อให้การให้น้ำมีความสม่ำเสมอภายในโซน

การกำหนดการให้น้ำและการให้ปุ๋ย การจัดการน้ำและปุ๋ยในแต่ละแปลงแบ่งเป็น 2 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 1 ได้แก่ T1 การให้น้ำคำนวณจากค่าการคายน้ำรวมตามวิธีของ FAO (Allen et al., 1998) โดยควบคุมความชื้นของดินให้อยู่ในระดับ Field capacity ที่ความลึก 10–20 เซนติเมตร ในช่วง 1–2 เดือนแรก และที่ความลึก 30 เซนติเมตร ในระยะอายุมากกว่า 2 เดือน สำหรับการให้ปุ๋ยให้ตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งมีรายละเอียดตามตารางที่ 1 สำหรับการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ให้น้ำผ่านระบบน้ำหยด 2–3 ครั้งต่อเดือน (ช่วงอายุ 1–5 เดือน) ให้น้ำ 1 ครั้งต่อเดือน (ช่วงอายุ 6–9 เดือน) และงดให้น้ำในช่วงอายุ 10–12 เดือน การให้ปุ๋ยทางดิน 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 เป็นปุ๋ยรองพื้น และครั้งที่ 2 เมื่อมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน

ตารางที่ 1 ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยสำหรับการผลิตมันสำปะหลัง

ทรีตเมนต์	รายละเอียด
T1	ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ: การให้น้ำ ใช้ระบบให้น้ำแบบน้ำหยด งดให้น้ำในช่วงอายุ 10-12 เดือน การให้ปุ๋ย ใช้สูตรปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (แต่ละแปลงจะมีสูตรปุ๋ยที่แตกต่างกัน) ให้ปุ๋ยผ่านระบบน้ำหยด (fertigation) รวมทั้งสิ้น 8 ครั้ง (เริ่มให้ปุ๋ยเมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือน และให้ปุ๋ยทุก 15 วัน โดย 4 ครั้งแรกให้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูง ส่วนการให้ปุ๋ย 4 ครั้งหลังให้ปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมสูง
T2	ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร: การให้น้ำ ให้น้ำผ่านระบบน้ำหยด 2-3 ครั้งต่อเดือน (ช่วงอายุ 1-5 เดือน) ให้น้ำ 1 ครั้งต่อเดือน (ช่วงอายุ 6-9 เดือน) และงดให้น้ำในช่วงอายุ 10-12 เดือน การให้ปุ๋ย ให้ปุ๋ยโดยการหว่านทางดินโดยใช้ปุ๋ยสูตรผสม 46-0-0 และ 16-8-8 ในอัตรา 80-100 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นก่อนปลูก และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 3 เดือน

การบันทึกข้อมูล ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุครบ 10 เดือน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ ขนาด 4 × 8 ตารางเมตรต่อซ้ำในแต่ละแปลงทดลอง แล้วชั่งน้ำหนักหัวสดและคำนวณผลผลิตเป็น หน่วยกิโลกรัมต่อไร่ (Prammanee et al., 2010) สำหรับเปอร์เซ็นต์แป้ง สุ่มเก็บตัวอย่างหัวมัน สำปะหลังจากแต่ละแปลงเพื่อวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง โดยใช้วิธีวิเคราะห์ตาม Reimann scale ซึ่งแสดงผล ในหน่วยเปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน ต้นทุนการผลิตมีค่าใช้จ่ายทั้งหมดประกอบด้วย 1) ค่าแรงงาน ในการปลูก ดูแลรักษา การเตรียมดิน และเก็บเกี่ยว โดยค่าแรงงานคำนวณจากอัตราค่าจ้างแรงงานใน ท้องถิ่น ซึ่งระบบการจัดการแบบแม่นยำมีต้นทุน 6,100 บาท/ไร่ ส่วนวิธีจัดการตามแนวปฏิบัติของ เกษตรกรมีต้นทุน 6,900 บาท/ไร่ 2) ปัจจัยการผลิต ได้แก่ ค่าท่อนพันธุ์ ปุ๋ยเคมี (ราคาปุ๋ยตามระบบของ เกษตรกรคิดราคา ณ ปัจจุบันที่เกษตรกรซื้อ ส่วนปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้จากการผสมโดยใช้แม่ปุ๋ย 46-0-0, 12-60-0, 0-0-60) และค่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (ยาคุมวัชพืช และยาฆ่าแมลงแช่ท่อนพันธุ์) ซึ่งปริมาณปุ๋ยและสารเคมีคำนวณจากปริมาณที่ใช้จริงและราคาตลาดเฉลี่ย โดยเฉลี่ยค่าปุ๋ยที่ใช้ในระบบ การจัดการแบบแม่นยำมีต้นทุน 1,647 บาท/ไร่ ส่วนวิธีจัดการตามแนวปฏิบัติของเกษตรกรมีค่าปุ๋ยเคมี 2,558 บาท/ไร่ 3) ค่าพลังงานในการสูบน้ำ ได้แก่ ค่าน้ำมัน หรือค่าเสื่อมโซลาเซลล์ และค่าวัสดุระบบน้ำ ได้แก่ เทปน้ำหยด ท่อประธาน บั๊มน้ำ ข้อต่อ และอุปกรณ์ระบบน้ำหยดที่เกี่ยวข้องที่ใช้จริงในแต่ละ แปลง ซึ่งทั้งสองวิธีมีต้นทุนใกล้เคียงกันระหว่าง 3,600-3,700 บาท รายได้รวม คำนวณจากผลผลิตมัน สำปะหลัง (กิโลกรัมต่อไร่) คูณด้วยราคาขาย (ราคามันสำปะหลัง ณ ช่วงเวลาที่เก็บเกี่ยว เชื่อแบ่งที่ 25% ราคา 2.28-2.32 บาทต่อกิโลกรัม)ผลตอบแทน คำนวณจากส่วนต่างระหว่างรายได้รวมและต้นทุนการ ผลิต ซึ่งแสดงถึงผลตอบแทนหรือกำไรสุทธิจากการผลิตมันสำปะหลังแต่ละแปลง

ผลและอภิปราย (Result and Discussion)

ผลการวิเคราะห์ดินของพื้นที่ทดลองทั้ง 10 แปลงพบว่า ดินที่ในการทดลองมี 3 ชนิด ได้แก่ ดินร่วนเหนียว ดินเหนียว ดินร่วนทราย ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน อยู่ในช่วง 5.01-7.54 จัดอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ มันสำปะหลัง ค่า EC ของดินทุกแปลงมีค่าต่ำกว่า 0.4 dS/m ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีปัญหาดินเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในดินร่วนเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง โดยบางแปลงมีค่าสูงถึงร้อยละ 3.98 ขณะที่ดินร่วนทรายส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าร้อยละ 0.5 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อยู่ใน ช่วง 17.1-58.8 ppm โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในช่วง 7.0-118.0 ppm ในบางแปลงพบว่ามีค่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก ซึ่งอาจเป็นผลจากการสะสมของ ปุ๋ยเคมีที่ใส่ในฤดูปลูกก่อนหน้า

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างดินในแปลงมันสำปะหลัง (ก่อนการทดลอง)

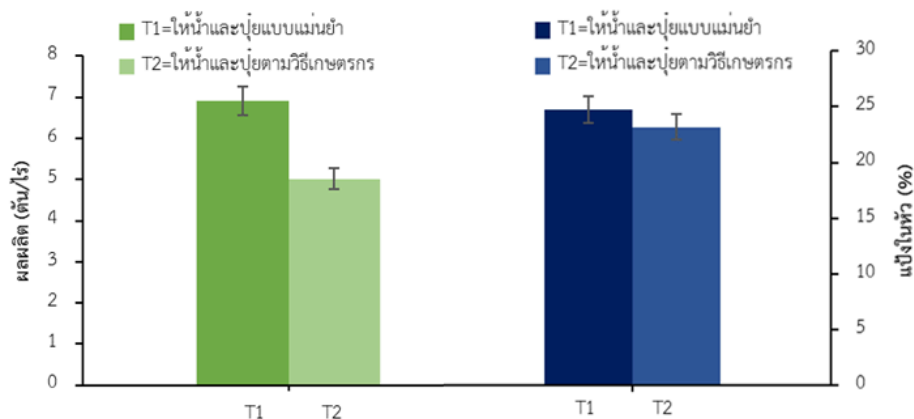
แปลงที่	เนื้อดิน	EC (dS/m)	pH (1:1)	OM (%)	Avai. P (ppm)	Exc. K (ppm)
1	ร่วนเหนียว	0.031	6.96	2.82	22.27	7.0
2	ร่วนทราย	0.061	6.76	0.45	58.80	118.0
3	ร่วนทราย	0.077	6.62	0.46	52.80	116.5
4	ร่วนทราย	0.041	5.45	0.60	31.30	63.4
5	ร่วนทราย	0.053	6.55	3.24	31.80	62.6
6	ร่วนเหนียว (กรวดปน)	0.124	8.09	0.26	17.10	59.0
7	ร่วนทราย (กรวดปน)	0.150	7.54	0.41	20.20	53.4
8	ร่วนเหนียวสีแดง (กรวดปน)	0.048	5.14	3.98	36.20	114.0
9	ร่วนเหนียว (กรวดปน)	0.119	5.01	0.77	25.50	115.0
10	เหนียว (กรวดปน)	0.099	6.80	1.36	23.30	113.4

ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ (T1) ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 6.91 ตันต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร (T2) ที่มีผลผลิตเฉลี่ย 5.02 ตันต่อไร่ (ภาพที่ 1) คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 40.37 (ตารางที่ 3) โดยเฉพาะในแปลงที่ 6 ผลผลิตเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 65.53 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการจัดการน้ำและปุ๋ยที่เหมาะสม การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างเหมาะสมตามช่วงอายุของพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลัง สำหรับเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 24.74% ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรที่มีค่าเฉลี่ย 23.17% (ภาพที่ 1) ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Siroth et al. (2001) ที่พบว่าโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แป้งและเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากส่วนเหนือดินไปยังหัวมันสำปะหลังและการจัดการธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะโพแทสเซียมสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังได้สูงถึง 30% (Howeler, 2018; Zebalho et al., 2025)

ตารางที่ 3 ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยที่แตกต่างกัน

แปลงที่	ผลผลิต (ตัน/ไร่)		แป้ง (%)		ความแตกต่าง		ความแตกต่าง	
	T1	T2	T1	T2	ผลผลิต (ตัน)	แป้ง (%)	ผลผลิต (%)	แป้ง (%)
1	5.00	3.70	26.40	21.68	1.30	4.72	35.14	21.77
2	8.31	5.30	25.24	22.98	3.01	2.26	56.79	9.83
3	7.08	5.09	26.18	22.14	1.99	4.04	39.10	18.25
4	6.23	5.66	25.53	24.26	0.56	1.27	10.07	5.23
5	6.55	4.22	25.54	22.78	2.33	2.76	55.21	12.12
6	6.82	4.12	25.00	25.65	2.70	-0.65	65.53	-2.53
7	5.62	3.97	21.15	20.49	1.65	0.66	41.56	3.22
8	12.75	0.32	22.00	21.30	2.43	0.70	23.55	3.29
9	5.24	3.85	26.65	25.23	1.39	1.42	36.10	5.63
10	5.54	3.94	23.70	25.23	1.60	-1.53	40.61	-6.06
ค่าเฉลี่ย	6.91	5.02	24.74	23.17	1.90	1.57	40.37	7.07
T-test	*		ns					

หมายเหตุ: T1 หมายถึง ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ, T2 หมายถึง ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร
* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, ns ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ



ภาพที่ 1 ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยที่แตกต่างกัน

ปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือการประยุกต์ใช้ระบบน้ำหยดร่วมกับการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ ซึ่งควบคุมปริมาณและช่วงเวลาในการให้น้ำตามค่าความต้องการน้ำของพืช (ETc) และค่าความชื้นในดิน การจัดการในลักษณะนี้ช่วยให้น้ำและธาตุอาหารถูกส่งไปยังบริเวณโซนราก (Root zone) ของมันสำปะหลังได้อย่างแม่นยำและสม่ำเสมอโดยเฉพาะเมื่อมีการให้น้ำหยดร่วมกับการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และปรับให้เหมาะสมกับช่วงการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ทำให้มันสำปะหลังสามารถดูดซึมน้ำและธาตุอาหารในรูปที่พร้อมใช้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม ส่งผลให้มีการสังเคราะห์แสงที่ต่อเนื่อง การเจริญเติบโตของระบบรากและลำต้นที่สมดุล และการสะสมคาร์โบไฮเดรตในหัวที่มีประสิทธิภาพ (López-Bellido et al., 2005) ส่งผลให้ได้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งที่สูงกว่าการจัดการแบบทั่วไปอย่างชัดเจน

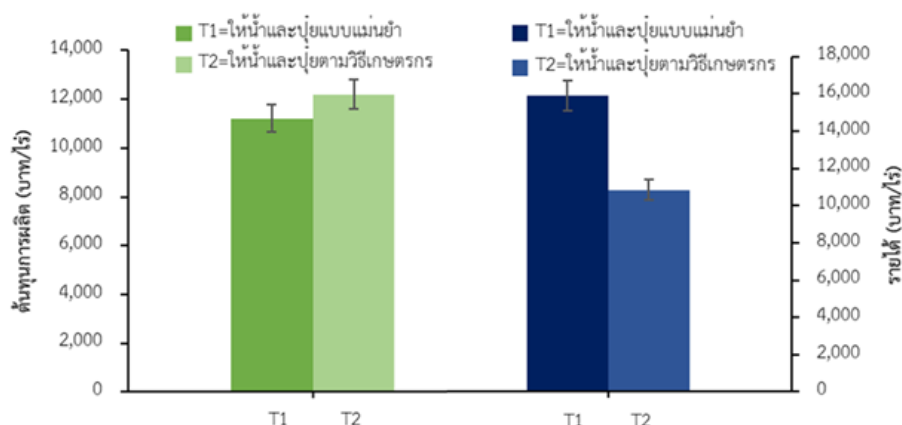
การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตมันสำปะหลังภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำกับระบบการจัดการ ตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรพบข้อมูลที่แสดงถึงศักยภาพของระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำในการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตมันสำปะหลัง

ต้นทุนการผลิต ต้นทุนการผลิตของทั้ง 2 ระบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4 และภาพที่ 2) โดยระบบจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 11,211 บาทต่อไร่ ขณะที่ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 12,198 บาทต่อไร่ สาเหตุที่ต้นทุนการผลิตของจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำต่ำกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ย ตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร แม้จะมีการใช้ระบบน้ำหยดและการวางแผนให้ปุ๋ยแบบเจาะจงรายแปลง เนื่องจากระบบจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำมีการวิเคราะห์ดิน เพื่อกำหนดสูตรและอัตราการให้ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมร่วมกับการให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพตามความต้องการของมันสำปะหลัง โดยช่วง 1-3 เดือนหลังปลูก ซึ่งเป็นระยะของการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการให้ธาตุไนโตรเจนในอัตราสูง เพื่อส่งเสริมการเจริญของลำต้นและใบ ขณะที่ช่วงสะสมอาหารมีการเพิ่มอัตราการให้โพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารสำคัญในการสังเคราะห์แป้งและสะสมในหัว อย่างไรก็ตามปุ๋ยเคมีที่ใช้ในระบบจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำใช้ปริมาณน้อยกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของระบบจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำต่ำกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ย ตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อันเนื่องจากการให้น้ำและให้ปุ๋ยที่เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน สรุปได้ว่าระบบจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ เป็นแนวทางการจัดการทรัพยากรที่คุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดต้นทุนปุ๋ยและน้ำได้ดี พร้อมทั้งรักษาผลผลิตและคุณภาพหัวมันสำปะหลัง อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียปุ๋ยจากการใช้ทรัพยากรเกินความจำเป็น (Kiziloglu et al., 2009) ทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ

รายได้ ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้สูงกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 2) โดยระบบจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำมีรายได้เฉลี่ย 15,915 บาทต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ที่มีรายได้เฉลี่ย 10,848 บาทต่อไร่ หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 46.71 ทั้งนี้เป็นผลจากผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งที่สูงกว่าเมื่อจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำรายได้จากการปลูกมันสำปะหลังขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ และเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังโดยทั่วไปหากเปอร์เซ็นต์แป้งสูงกว่า 25% เกษตรกรจะได้รับค่าตอบแทนเพิ่มประมาณ 0.05 บาทต่อเปอร์เซ็นต์ที่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน (25%) ดังนั้น การผลิตมันสำปะหลังที่มีทั้งผลผลิตสูงและคุณภาพดี (เปอร์เซ็นต์แป้งสูง) จะสามารถเพิ่มรายได้ของเกษตรกรได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำนอกจากช่วยเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่แล้ว ยังเพิ่มคุณภาพผลผลิต (แป้งในหัว) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อราคาขายและรายได้ของเกษตรกร อันเนื่องมาจากการจัดการธาตุอาหารและน้ำอย่างเหมาะสมตามความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโต มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและผลตอบแทน (López-Bellido et al., 2005)

ผลตอบแทน ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำส่งผลให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนสูงกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรอย่างชัดเจน โดยระบบจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำมีผลตอบแทนเฉลี่ย 4,704 บาทต่อไร่ ขณะที่ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีผลตอบแทน -1,350 บาทต่อไร่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรประสบภาวะขาดทุน อันเป็นผลมาจากการให้ปุ๋ยไม่เหมาะสมกับความต้องการของพืชส่งผลให้ผลผลิตต่ำรายได้น้อย และขาดทุนในที่สุด ในทางตรงกันข้ามระบบจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ มีผลตอบแทนเป็นบวกในทุกแปลงทดลอง โดยเฉพาะในแปลงที่ 8 ซึ่งมีผลตอบแทน 15,158 บาทต่อไร่ ขณะที่แปลงที่ 5 ในระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีผลตอบแทนต่ำที่สุดโดยขาดทุน 4,474 บาทต่อไร่

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำสามารถให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านน้ำหรือความไม่แน่นอนทางสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากการให้น้ำแบบแม่นยำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Sadler et al., 2005) และลดความเสี่ยงจากภัยแล้ง (Feres & Soriano, 2007) นอกจากนี้ การให้ปุ๋ยแบบแม่นยำตามความต้องการของพืชยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้ปุ๋ย ลดต้นทุนแฝงจากการให้ปุ๋ยเกินความจำเป็น และลดค่าแรงงานในการให้ปุ๋ยทางดิน ดังนั้น ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำจึงเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับเป้าหมายในการพัฒนาเกษตรกรรมอย่างยั่งยืนของประเทศไทย



ภาพที่ 2 ต้นทุนการผลิตและรายได้ของการผลิตมันสำปะหลังภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ต้นทุน รายได้ และผลตอบแทนของการผลิตมันสำปะหลังภายใต้ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยที่แตกต่างกัน

แปลงที่	ต้นทุนการผลิต (บาท/ไร่)		รายได้ (บาท/ไร่)		ผลตอบแทน (บาท/ไร่)		ความแตกต่าง (T1-T2, บาท/ไร่)		
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	ต้นทุน	รายได้	ผลตอบแทน
1	10,949	11,522	12,007	8,028	1,057	-3,494	-573	3,979	4,551
2	10,483	12,495	19,287	11,501	8,805	-993	-2,012	7,786	9,798
3	10,310	12,465	16,850	11,042	6,540	-1,423	-2,155	5,807	7,963
4	11,075	12,596	14,942	12,854	3,867	259	-1,520	2,088	3,608
5	11,845	13,834	15,732	9,360	3,887	-4,474	-1,990	6,372	8,361
6	12,134	11,789	16,378	8,525	4,243	-3,264	345	7,853	7,508
7	11,362	11,690	11,684	7,856	323	-3,833	-328	3,828	4,156
8	11,992	12,813	27,150	21,466	15,158	8,653	-820	5,685	6,505
9	11,083	11,407	12,780	8,786	1,696	-2,621	-324	3,994	4,318
10	10,876	11,370	12,343	9,057	1,467	-2,314	-494	3,287	3,781
ค่าเฉลี่ย	11,211	12,198	15,915	10,848	4,704	-1,350	- 987	5,068	6,055
T-test	**		*		**				

หมายเหตุ: T1 หมายถึงระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำ และ T2 หมายถึง ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร
* และ ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

สรุปผล (Conclusion)

ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของหัวมันสำปะหลังได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำให้ผลผลิตเฉลี่ย 6.91 ตันต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 5.02 ตันต่อไร่ หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 40.37 ส่วนเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจาก 23.17% เป็น 24.74% หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.07 ในด้านผลตอบแทน ทั้งนี้ต้นทุนการผลิตระหว่างทั้ง 2 ระบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (11,211–12,198 บาทต่อไร่) ซึ่งระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำให้รายได้เฉลี่ยสูงกว่า โดยมีรายได้เฉลี่ย 15,915 บาทต่อไร่ เปรียบเทียบกับระบบการจัดการตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรที่มีรายได้เฉลี่ย 10,848 บาทต่อไร่ นอกจากนี้ ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำยังให้ผลตอบแทนสูงถึง 4,704 บาทต่อไร่ ขณะที่ระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรขาดทุนเฉลี่ย 1,350 บาทต่อไร่ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระบบการจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำสามารถยกระดับประสิทธิภาพการผลิตของมันสำปะหลัง ทั้งในด้านการผลิต ผลผลิต และผลตอบแทน รวมถึงมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรน้ำ

เอกสารอ้างอิง (Reference)

สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. (2568). พาณิชย์พนัก TDRi เปิดเวทีระดมความคิดเห็นผลักดันนโยบาย หนุนการค้ามันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. ข่าวสารสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage. Rome, Italy.

- Anderson, J.M., and Ingram, J.S. (1994). Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. *Soil Science*. 157(4), 265.
- Ayars, J., Phene, C., Hutmacher, R., Davis, K., Schoneman, R., Vail, S., and Mead, R. (1999). Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*. 42(1), 1-27.
- Burns, A., Gleadow, R., Cliff, J., Zacarias, A., and Cavagnaro, T. (2010). Cassava: the drought, war and famine crop in a changing world. *Sustainability*. 2(11), 3572-3607.
- Chien, S.H., Prochnow, L.I., and Cantarella, A.H. (2009). Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in Agronomy*. 102, 267-322.
- Ezui, K.S., Franke, A.C., Mando, A., Ahiabor, B.D.K., Tetteh, F.M., Sogbedji, J., Janssen, B.H., and Giller, K.E. (2016). Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. *Field Crops Research*. 185, 69-78.
- FAO. (2021). *Save and Grow: Cassava*. Rome: FAO.
- Fereres, E., and Soriano, M.A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*. 58(2), 147-159.
- Gebbers, R., and Adamchuk, V.I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*. 327(5967), 828-831.
- Howeler, R.H. (2018). Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. <https://www.researchgate.net/publication/322628495>.
- Kaushal, P., Kumar, V., and Sharma, H.K. (2012). Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *LWT - Food Science and Technology*. 48(1), 59-68.
- Kiziloglu, F.M., Sahin, U., Kuslu, Y., and Tunc, T. (2009). Determining water-yield relationship, water use efficiency, crop and pan coefficients for silage maize in a semiarid region. *Irrigation Science*. 27(2), 129-137.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., and Redondo, R. (2005). Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. *Field Crops Research*. 94(1), 86-97.
- Polthanee, A., and Srisutham, M. (2018). Growth, yield and water use of drip irrigated cassava planted in the late rainy season of Northeastern Thailand. *Indian Journal of Agricultural Research*. 52(5), 554-559.
- Prammanee, S., Kamprerasart, K., Salakan, S., and Sriroth, K. (2010). Growth and starch content evaluation on newly released cassava cultivars, Rayong 9, Rayong 7 and Rayong 80 at different harvest times. *Agriculture and Natural Resources*. 44(4), 558-563.
- Sadler, E.J., Evans, R.G., Stone, K.C., and Camp, C. (2005). Opportunities for conservation with precision irrigation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 60(6), 371-379.
- Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Santisopasri, V., and Oates, C.G. (2001). Environmental conditions during root development: Drought constraint on cassava starch quality. *Euphytica*. 120(1), 95-102.

- Vanlauwe, B., Coyne, D., Gockowski, J., Hauser, S., Huising, J., Masso, C., Nziguheba, G., Schut, M., and Van Asten, P. (2014). Sustainable intensification and the African smallholder farmer. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 8, 15-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2014.06.001>.
- Zebalho, C.S., Pilecco, I.B., Streck, N.A., Cardoso, P.D.S., Freitas, C.P.D.O.D., Vieira, E.A., Soares, M.F., Tagliapietra, B.L., Ferigolo, A.A., and Swarowsky, A. (2025). Assessing management factors limiting yield and starch content of cassava in the western Brazilian Cerrado. *Agronomy Journal*. 117(1), e21722.

วารสาร
เทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร
(Journal of Technology and Agricultural Innovation)

Faculty of Technology and Community Development
Thaksin University, Phatthalung Campus