

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2567
Vol.5 No.1 January – April 2024

- การตรวจจับท่าทางมือเพื่อเป็นสัญญาณขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์โดยใช้ วิธีการระบุฟังก์ชันของมือ ด้วยมีเดียไปป์
ณรงค์ฤทธิ์ ภิรมย์นุก
- ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการควบคุมโรคแอนแทรกคโนสฟริกที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp.
ศิริโสภา อินทะ วรณวงศ์, วิโรจ ชมภู และกมลพร ปานจอม
- การจำลองสถานการณ์จัดเส้นทางการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนตำบลกันตวงระมอล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์
ศุภวิช นิยมพันธุ์, ธารินทร์ มีเจริญ, ศิวพร แนนหนา, นิศานาก แก้ววินัด, พงศ์ไกร วรณตรง และชลิตา แก้วบุตรดี
- การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งพรุณบนแผ่นดูดซับความร้อน
ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, สืบสกุล ศุภรัตน์ และสมพล สกุลหลง
- คุณภาพน้ำและความหลากหลายของไฟโรทิวในแม่น้ำจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี
วีระ ยินดี, วิทวัส เวชกุล, นฤมล เวชกุล, สิกิริ กุหลาบทอง, ดุสิต ศรีวิไล และวัชนะชัย จูมผา
- การประเมินผลผลิตและคุณภาพมะเขือเทศสายพันธุ์ที่รายงานความต้านทานโรคในสภาพโรงเรือน
ชัชวาล แสงฤทธิ์, ศุภพร พิมพ์กลาง และธัญรัตน์ ตาอินทะ
- การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจหาเชื้อ ไมโคแบคทีเรียม ทูเบอร์คิวโลซิส (*M. Tuberculosis*) จากเสมหะด้วยวิธี
การตรวจ Acid-Fast Bacillus (AFB)
ปณณรร ขุนโหล, ปรีดา พวงทอง, วิเชียร ดอนแรม และนพ.แอนธรรพ์ แสงภู
- ผลของการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ อำเภอศรีบุญเรือง จังหวัดสุรินทร์
ภูษณ์ สุภักควรางกูร, สำเนา เสาวกุล, อังกรวดี เครือภักดี และนิอร จามสุข
- การสังเคราะห์สารประกอบเคเลซิมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ (*Pomacea canaliculata*) โดยกระบวนการที่ใช้ต้นทุเรียน
เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปุ๋ยน้ำ
วิมลมาศ บุญมี, เขวเรศ แสงอรุณ, บรรจง บุญชม, นที โอภาสี, สรทิจ มงคล, ธนา ก้าวพานิช และบุบผา จงพัฒน์
- การศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ นิเวศวิทยา ธรณีวิทยาและฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียของต้นหยาดน้ำค้าง
(*Drosera burmanni* Vahl) ในอำเภอมือง และอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ปริญญา สุกแก้วมณี และอารยา ปรานประวิตร

ISSN 2730 - 163X

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) การตรวจจับท่าทางมือเพื่อเป็นสัญญาณขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์โดยใช้วิธีการระบุพิกัดของมือด้วยมีเดียไปป์ 2) ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการควบคุมโรคแอนแทรกคโนสพริกที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp. 3) การจำลองสถานการณ์จัดเส้นทางรถขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนตำบลกันตวจระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ 4) การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งพุ่มบนแผ่นดูดซับความร้อน 5) คุณภาพน้ำและความหลากหลายของโพรโทซัวในแม่น้ำจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี 6) การประเมินผลผลิตและคุณภาพมะเขือเทศสายพันธุ์ที่รายงานความต้านทานโรคในสภาพโรงเรือน 7) การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจหาเชื้อ ไมโคแบคทีเรียม ทูเบอร์คูโลซิส (*M. Tuberculosis*) จากเสมหะด้วยวิธีการตรวจ Acid-Fast Bacillus (AFB) 8) ผลของการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ 9) การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ (*Pomacea canaliculata*) โดยกระบวนการที่ใช้ต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปุ๋ยน้ำ 10) การศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ นิเวศวิทยา เรณูวิทยาและฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) ในอำเภอเมือง และอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

โดยบทความได้ผ่านการพิจารณา และการกลั่นกรอง จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กองบรรณาธิการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการของประเทศไทยต่อไป

กองบรรณาธิการ
วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี Agriculture and Technology Journal

วัตถุประสงค์	เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแก่สังคม		
เจ้าของ/สำนักงานวารสาร	คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี 145 หมู่ 15 ต.นอกเมือง อ.เมืองสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000 โทร. 044-153093 โทรสาร. 044-153093 E-mail: atj.rmuti@gmail.com Website: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/index		
ที่ปรึกษาบรรณาธิการ	รศ.ดร.สำเนาวั	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ	อ.ทรงยศ	กิตติชนม์ธวัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวิณา	สาส์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	ดร.อัญวิณ์	ไชยวิชระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ			
	ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
	ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.สนั่น	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
	ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.อลงกลด	แทนออมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศ.ดร.สุขสันต์	หอยพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	ศ.ดร.สุวัจน์	อัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ศ.ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พล.อ.ต.ศ.ดร.สรกฤช ศรีเกษม	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศ.ดร.สุรพล แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.พนธ์วัศ สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.สุพรรณ สุตสนธิ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รศ.ดร.ธนิษฐา ทรรพนันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.บุญเสถียร บุญสูง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรพินท์ จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ปรเมศ บรรเทิง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.รัชพล สันติวรากร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.สิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.กริช สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รศ.ดร.วีระเวทย์ อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.บรรจง บุญชม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.บัณฑิต ยวงสร้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.พัชริน ส่งศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.ภาณุพล หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.อังคณา บุญยัด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.สุจินต์ จิระชีวะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.รัตติกาล เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วช.บางพระ
ผศ.ดร.อรอนงค์ ภูสีฤทธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.เอื้อมพร จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.พัชรินทร์ อาตมียะนันท์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผศ.ดร.วิระพันธ์ สีหานาม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.รัตนจิรา รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดิล ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ทิวากร อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.นิตยา ภูงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ปรัชญา บำรุงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.เรวัฒน์ เต็มกล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.วิภาสทธิ์ หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุทธิชาน์ นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุรียา อุดด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

กำหนดออกวารสาร

พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน

- ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – เมษายน
- ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม
- ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน – ธันวาคม

พิมพ์ที่

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมิใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1

รองศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชูชาติ พยอม

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเสถียร บุญสูง

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพร แสนสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ประสิทธิ์นอก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาริก สุรินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ยาทองไชย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนิดา สำราญรัมย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรภรณ์ สุว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ ผลวงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอราวัณ เป้าทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญ ผาใต้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัฒน์ ณ พัทลุง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสพิชญ์ ชูใจ มิเชล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ จีระชีวะนันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระ สาธุพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอื้อมพร จันทร์สองดวง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีรชาติ โตแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยสิทธิ์ ทองจุ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา สิงห์ทองชัย

อาจารย์ ดร.ปวิวัติ วรามิตร

อาจารย์ ดร.พงศ์ภัทร เกียรติประเสริฐ

อาจารย์ ดร.ชัตติยา มูลไชยสุข

อาจารย์ ดร.พุทธพรณี บุญมาก

อาจารย์ ดร.ปญญาภา ชาริรักษ์

อาจารย์ ดร.ชัชวาล แสงฤทธิ์

อาจารย์ ดร.วิทยา อินทร์สอน

อาจารย์ ดร.รัชนี พุทธา

อาจารย์ ดร.สิทธิศักดิ์ สะลิวรรณ

อาจารย์ ดร.เพ็ญมณีนัย รัตนวีระพันธ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยนครพนม

วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรและเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมแก่สังคม ทำการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ฐานข้อมูลระบบออนไลน์ และรูปเล่ม จำนวน 3 ฉบับต่อปี ในทุก ๆ 4 เดือน โดยฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม และฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม เปิดรับบทความที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสาร

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 10 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 3 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 2 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 5 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TC12)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย ลิทธิวงษ์

บรรณาธิการ

การตรวจจับท่าทางมือเพื่อเป็นสัญญาณขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ โดยใช้วิธีการระบุพิกัดของมือด้วยมีเดียไปป์ Utilizing hand landmarks and MediaPipe for deep neural network-based recognition of signal for help ณรงค์ฤทธิ์ ภิรมย์นุก	1
ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสพริกที่มีสาเหตุ มาจากเชื้อรา <i>Colletotrichum</i> sp. Effect of hydrogen peroxide on the control of chili anthracnose caused by <i>Colletotrichum</i> sp. ศิริโสภา อินชะ วรณวงศ์ วิโรจ ชมภู และกมลพร ปานง่อม	15
การจำลองสถานการณ์จัดเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชน ตำบลกันตวจระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ The model of vehicle transportation and distribution of organic vegetables in the community of Kantuadramaul Subdistrict, Prasat District, Surin Province ศุภวิช นิยมพันธุ์ ธาภิณี มีเจริญ ศิวพร แนนหนา นิตานาถ แก้ววินัด พงศ์ไกร วรณตรง และชลิตา แก้วบุตรดี	26
การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ด้วยการติดตั้งปีกโค้งพรุนบนแผ่นดูดซับความร้อน Thermal performance enhancement of solar air heater with perforated curved- winglet roughness on absorber plate ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ สืบสกุล คุรุรัตน์ และสมพล สกุลหลง	36

- คุณภาพน้ำและความหลากหลายของโพรโทซัวในแม่น้ำจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี 46
Water quality and diversity of protozoa in the Chanthaburi River,
Chanthaburi Province
วีระ ยินดี วิทวัส เวชกุล นฤมล เวชกุล สิทธิ กุหลาบทอง ดุสิต ศรีวิไล
และวัชนะชัย จุ่มผา
- การประเมินผลผลิตและคุณภาพมะเขือเทศสายพันธุ์ที่รายงานความต้านทานโรค 59
ในสภาพโรงเรือน
Evaluation of yield and qualities of reported resistant tomato lines under
plastic-net house
ชัชวาล แสงฤทธิ์ ศุภีพร พิมพ์กลาง และธัญรัตน์ ตาอินต๊ะ
- การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจหาเชื้อ ไมโคแบคทีเรียม ทูเบอร์คูโลซิส 68
(*M. tuberculosis*) จากเสมหะด้วยวิธีการตรวจ Acid-Fast Bacillus (AFB)
The development of artificial intelligence system to detect *Mycobacterium tuberculosis*
(*M. tuberculosis*) from sputum with Acid-Fast Bacillus (AFB) method
ปัทมธร ขุนโหร ปรีระกา พวงทอง วิเชียร ดอนแรม และธรรพรพ์ แสงภู
- ผลของการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทน 80
ทางเศรษฐกิจอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์
Effect of site-specific nutrients management on rice yield
and economic return in Sikhoraphum District, Surin Province
ภูษงค์ สุภัก์วรารังกูร ลำเนาวิ เสาวกุล อัจฉรวาดี เครือภักดี และนิอร งามฮุย

การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ (*Pomacea canaliculata*) 88
โดยกระบวนการที่ใช้ต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปุ๋ยน้ำ

Synthesis of calcium acetate from golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)
shells with a low-cost process for using as raw material for liquid fertilizer

วิมลมาศ บุญมี เขาวเรศ แสงอรุณ บรรจง บุญชม นที ไอ้ภาษี สรกีจักษ์ มงคล
ธนา ก้าวพานิช และบุบผา จงพัฒน์

การศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ นิเวศวิทยา เรณูวิทยา 100
และฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl)
ในอำเภอเมืองและอำเภอกาญจนดิษฐ์จังหวัดสุราษฎร์ธานี

The diversity study of plant, ecology, palynology and anti-bacteria of
Drosera burmanni Vahl in Mueang Surat Thani and Kanchanadit District,
Surat Thani Province

ปริญญ์ สุกแก้วมณี และอารยา ปราณประวีตร

Received: August 17, 2023; Revised: November 3, 2023; Accepted: November 13, 2023

การตรวจจับท่าทางมือเพื่อเป็นสัญญาณขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์
โดยใช้วิธีการระบุพิกัดของมือด้วยมีเดียไปป์
Utilizing hand landmarks and MediaPipe for deep neural network-based
recognition of signal for help

ณรงค์ฤทธิ ภิรมย์นก^{1*}
Narongrit Piromnok^{1*}

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพฯ

¹ Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, Bangkok

*Corresponding Author E-mail Address: narongrit_phi@dusit.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาความไม่ปลอดภัยเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของคนในสังคมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะผู้พิการทางการได้ยินที่มีจำนวนมากเป็นอันดับ 2 ของผู้พิการทั้งหมด ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งทางร่างกายและจิตใจ และปัญหาความรุนแรงภายในครอบครัวที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งภายในบ้าน โรงเรียน หรือที่สาธารณะ ซึ่งเป็นปัญหาสำหรับบุคคลทุกกลุ่ม ทุกช่วงวัย จึงเป็นที่มาของการพัฒนาระบบการตรวจจับท่าทางมือเพื่อเป็นสัญญาณขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์โดยใช้วิธีการระบุพิกัดของมือด้วยมีเดียไปป์ โดยช่วยให้พวกเขาสามารถขอความช่วยเหลือในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินได้โดยไม่ต้องพูดหรือส่งเสียงออกมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อตรวจจับท่าทางมือที่เป็นสัญญาณขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือน 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือ โดยจะใช้ MediaPipe framework ซึ่งได้รับการฝึกฝนจากข้อมูล 30,000 ภาพ และทดสอบโดยการรับข้อมูลจากกล้องวิดีโอมาทำการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือ จำนวน 6 ท่าทาง จำนวนท่าทางละ 100 ภาพ รวมเป็น 600 ภาพ โดยการกำหนดค่าพิกัดของฝ่ามือและนิ้วมือลงในโปรแกรมภาษา Python เมื่อตรวจพบท่าทางมือขอความช่วยเหลือจะส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแล จากผลการทดสอบ พบว่า ค่าความถูกต้องของท่าทางมือ 1-6 ของชุดข้อมูลอยู่ในช่วง 95-99% ความแม่นยำประมาณ 97%

คำสำคัญ: การรู้จำท่าทางมือ โค้ดข่ายประสาทเทียม มีเดียไปป์

Abstract

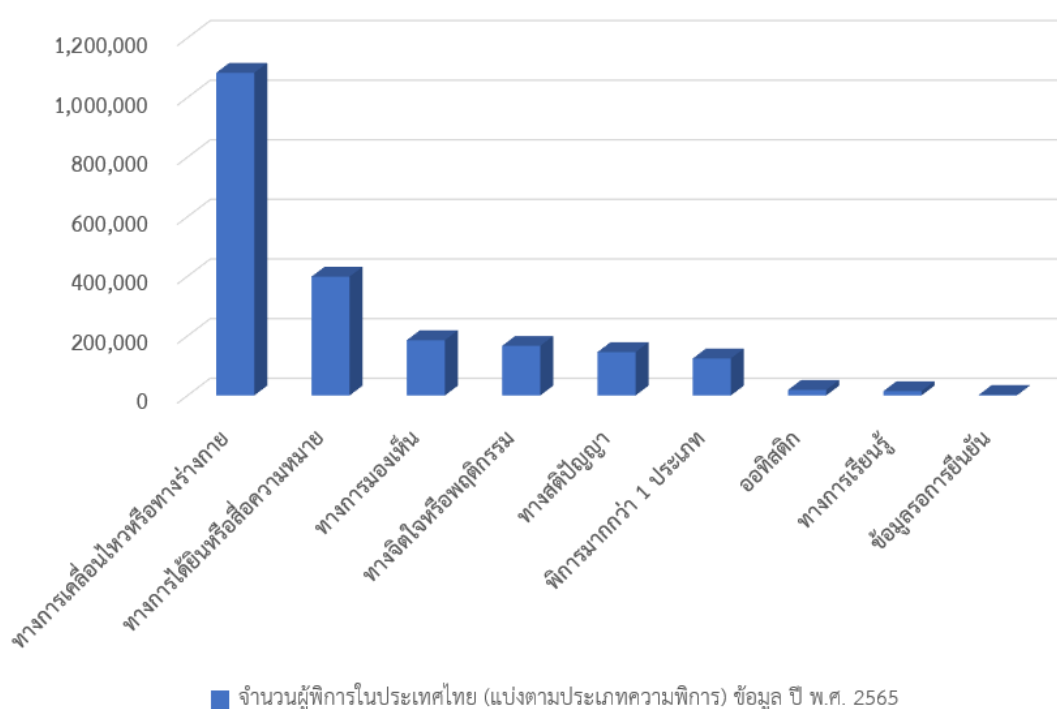
The unsafe condition is a problem that has greatly affected the quality of life of people in society, especially those people with hearing loss which accounts for the second largest number of all disabled people. The unsafe conditions may take place physically and mentally, as well as problems of family violence that may occur at home, school, or public places, thereby vastly affected people of all groups and all ages. Thus, the issue is attributed to the real-time “signal for help” hand gesture recognition development with the aid of the MediaPipe to track the location. The victim can ask for help in an

emergency case without words or shouting out. The objectives of the study include: 1) to detect the “signal for help” hand gestures and provide notifications, and 2) to examine the performance of the “signal for help” hand gesture recognition. The MediaPipe framework is used and practiced with 30,000 images dataset and tested by the obtained video data to detect six “signal for help” hand gestures, each gesture of 100 images, a total of 600 images. The palm and finger coordinates are configured into a Python programming language. When “signal for help” hand gestures are detected, a notification is provided to the administrator. The test results found that the accuracy of hand gestures 1-6 of the dataset ranged between 95-99%, and the accuracy was approximately 97%.

Keywords: Hand gesture recognition, Neural networks, MediaPipe

บทนำ

จากข้อมูลรายงานสถานการณ์ด้านคนพิการในประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2565 โดยกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับคนพิการไว้ว่ามีคนพิการที่ได้รับการออกบัตรประจำตัวคนพิการในประเทศไทย จำนวนทั้งสิ้น 2,180,178 คน โดยคิดเป็นร้อยละ 3.29 ของประชากรทั้งประเทศ โดยข้อมูลประชากรประเทศไทยของสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง ณ วันที่ 2 กรกฎาคม 2566 จำนวนประชากรทั้งประเทศมีจำนวน 66,073,904 คน โดยแบ่งเป็นคนพิการ เพศชาย จำนวน 1,136,836 คน คิดเป็นร้อยละ 52.14 และเพศหญิง จำนวน 1,043,432 คน คิดเป็นร้อยละ 47.85 จากคนพิการทั้งหมด ซึ่งหากแบ่งตามประเภทของความพิการ จะสามารถจัดลำดับได้ดังรูปที่ 1 (กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ, 2565)



รูปที่ 1 ข้อมูลสถิติคนพิการในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 แบ่งตามประเภทความพิการ

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าจำนวนผู้พิการอันดับที่ 1 คือ ทาง การ เคลื่อน ไหว หรือ ทาง ร่าง กาย จำนวน 1,112,763 คน อันดับที่ 2 ผู้ พิการ ทาง การ ได้ยิน จำนวน 405,920 คน จากผู้พิการทั้งหมด 2,180,178 คน คิดเป็นร้อยละ 18.61 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูงมาก เราจึงควรให้ความสำคัญในการพัฒนาสิ่งสนับสนุนหรือระบบที่ช่วยให้คุณภาพชีวิตของผู้พิการดีขึ้น ปัญหาของความบกพร่องทางการได้ยินทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับพัฒนาการด้านภาษาและการสื่อสารที่ถือว่าเป็นส่วนสำคัญในพัฒนาการทางสังคม อารมณ์ และสติปัญญา นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยินมีแนวโน้มในการต้องอยู่อย่างโดดเดี่ยว และมักจะตกเป็นผู้ถูกรังแกหรือใช้ความรุนแรง มีผลกับการเรียนและการทำงาน ปัญหาความไม่ปลอดภัยเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของคนในสังคมเป็นอย่างมาก ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งทางร่างกายและจิตใจ เช่น การถูกลั่นทรวง การทำร้ายร่างกาย การกักขัง หน่วงเหนี่ยว การข่มขืน การถูกล่วงละเมิดทางเพศ และปัญหาความรุนแรงภายในครอบครัวที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งภายในบ้าน โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า หรือที่สาธารณะ ซึ่งเป็นปัญหาสำหรับบุคคลทุกกลุ่ม ทุกช่วงวัย ไม่ว่าจะเป็นผู้พิการ หรือบุคคลปกติ จึงเป็นที่มาของการคิดค้นสัญญาณมือขอความช่วยเหลือสากล (Signal for help) ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย มูลนิธิสตรีแคนาดา เป็นสัญลักษณ์ที่ถูกเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2563 โดยมูลนิธิสตรีแห่งแคนาดา จากประเทศแคนาดา (Canadian women's foundation) เพื่อเป็นสัญญาณมือในการขอความช่วยเหลือ จากการถูกทำร้ายร่างกาย จิตใจ หรือการถูกคุกคามต่าง ๆ การส่งสัญญาณโดยใช้มือเพียงข้างเดียว โดยเป็นการส่งสัญญาณแสดงท่าที่ว่าการขอความช่วยเหลือ และต้องการความช่วยเหลือโดยด่วน ซึ่งในการใช้ท่าทางมือนี้จะเป็นการส่งสัญญาณอย่างลับ ๆ เพื่อให้คนที่ผ่านไปผ่านมาเห็นท่าทางมือที่แสดงออกมาผ่านทาง การมองเห็น แทนการส่งเสียงร้องขอความช่วยเหลือ ซึ่งบางครั้งคนที่ถูกทำร้ายหรือถูกคุกคาม อาจไม่สามารถที่จะขอความช่วยเหลือผ่านทาง การส่งเสียงร้องขอความช่วยเหลือได้ หรือไม่มีโอกาสที่จะขอความช่วยเหลือ เพราะมักจะถูกจับตามองอยู่ตลอดเวลา สัญญาณขอความช่วยเหลือไม่ได้เกี่ยวข้องกับภาษามืออเมริกัน (ASL) หรือภาษามืออื่น ๆ โดยท่าทางสัญญาณมือนี้เป็นเพียงท่าทางที่แสดงขึ้นเพื่อขอความช่วยเหลือ ที่มูลนิธิสตรีแห่งแคนาดาต้องการเผยแพร่ให้ทุกคนเข้าใจเท่านั้น จึงเป็นการแสดงท่าทางมือแบบง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนแต่อย่างใด (The Canadian Women's Foundation, 2020)

ทั้งนี้ความบกพร่องทางการได้ยินเป็นความผิดปกติที่สามารถนำเอาเทคโนโลยีมาช่วยเหลือให้สามารถสื่อสารกับคนปกติได้สะดวกยิ่งขึ้น เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ ได้เพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลายและรวดเร็ว และวิธีการที่มนุษย์กับคอมพิวเตอร์จะมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกันได้สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การโต้ตอบด้วยเสียง และการโต้ตอบด้วยท่าทาง เนื่องจากท่าทางประกอบด้วยข้อมูลจำนวนมากที่สามารถสื่อความหมาย อารมณ์ และสอดคล้องกับพฤติกรรมในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ท่าทางสามารถอยู่ในรูปของท่าทางมือที่ช่วยให้เราสามารถสื่อสาร และโต้ตอบกันในชีวิตประจำวันได้ การรู้จำท่าทางมือ คือ การตีความทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนไหวของมนุษย์โดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในตรวจจับท่าทางหรือสัญญาณต่าง ๆ โดยใช้กล้องในการตรวจจับเป็นภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว โดยการรู้จำท่าทางมือสามารถช่วยให้ผู้พิการทางร่างกาย โดยเฉพาะผู้พิการทางการได้ยิน หรือแม้แต่บุคคลทั่วไปที่ไม่สามารถสื่อสารด้วยเสียงได้ ให้สามารถสื่อสารออกมาได้เมื่อตกอยู่ในอันตราย โดยผู้ทำการวิจัยได้พัฒนาระบบการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ โดยการใช้วิธีการระบุพิกัดของมือด้วยมือเดียวไปป์โดยมุ่งเน้นไปที่การตรวจจับผ่านระบบกล้องวิดีโอ หรือกล้องวงจรปิด ที่มีการติดตั้งอยู่ทั่วไป ทั้งที่บ้าน ที่ทำงาน โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า หรือที่สาธารณะ เพื่อตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ (LINE) รวมทั้งสามารถทำการแจ้งเตือนเข้าไปที่เจ้าหน้าที่ ที่ดูแลความปลอดภัยผ่านทางเสียงแจ้งเตือน หรือสัญญาณไฟกระพริบ โดยติดต่อผ่านอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งสัญญาณไปยัง Output แบบอื่น ๆ ต่อไป

ภัทรณัฐ และคณะ (2565) ได้วิจัยเกี่ยวกับโปรแกรมแปลภาษามือเป็นข้อความและเสียงพูดโดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการรู้จำภาษามือไทยด้วย Long Short Term Memory (LSTM) อัลกอริทึมบนเทคนิคโครงกระดูกของ MediaPipe ในการทดลองสามารถแบ่งออกได้ 3 หัวข้อ 1) การสะกดด้วยนิ้วสำหรับตัวเลข (1-9), 2) ภาษามือธรรมชาติ จำนวน 20 คำ และ 3) โปรแกรมแปลภาษามือด้วยซอฟต์แวร์ โดยผลการทดลองแสดงความแม่นยำของการสะกดด้วยนิ้วและแบบภาษามือธรรมชาติด้วยโปรแกรมแปลภาษามืออยู่ระหว่าง 94, 99 และ 80.5% ตามลำดับ

ณัฏฐา และธนภัทร (2565) ได้วิจัยเกี่ยวกับระบบแปลคำศัพท์ภาษามือไทยโดยการเรียนรู้เชิงลึกบนข้อมูลบางส่วน โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาระบบแปลคำศัพท์ภาษามือไทยในชีวิตประจำวัน โดยที่แปลคำศัพท์ภาษามือไทยในชีวิตประจำวันได้เบื้องต้น 2) เพื่อสร้างโมเดลโดยใช้ตัวอย่างข้อมูลจำนวนน้อย โดยการสร้างโมเดลที่เหมาะสมเพื่อแปลคำศัพท์ภาษามือไทยโดยแบ่งออกเป็น 3 หมวด ได้แก่ หมวดความรู้สึกจำนวน 21 คำ หมวดรสชาติจำนวน 9 คำ และหมวดคำกริยาจำนวน 17 คำ รวมทั้งหมด 47 คำ ผลการทดลองให้ความแม่นยำในการแปลคำศัพท์ภาษามือไทยทั้ง 47 คำ วัดค่า Accuracy ได้ถึง 74%

พิศณุ (2564) ได้วิจัยเกี่ยวกับระบบรู้จำท่าทางมือทางทหารด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยนำเสนอระบบรู้จำท่าทางมือทางทหารด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยเริ่มจากการเรียนรู้จดจำท่าทางมือโดยใช้คอมพิวเตอร์ด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล ทำการตรวจจับและรู้จำท่าทางของมือจากอัลกอริทึม จำนวน 3 วิธีคือ โครงข่ายประสาทเทียม วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดและการจับคู่แม่แบบ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลความถูกต้องมากที่สุดคือ 82%

Indriani et al. (2021) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแอปพลิเคชันคู่มือของผู้ใช้อย่างง่ายโดยใช้เฟรมเวิร์ก MediaPipe คู่มือผู้ใช้ (User manual) เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นเอกสารเกี่ยวกับการสื่อสารทางเทคนิคหรือคู่มือในระบบบางอย่างเพื่อช่วยเหลือผู้ใช้ให้ใช้งานอย่างถูกต้อง ในการศึกษาจะทำการจับภาพแบบเรียลไทม์โดยใช้ Kinect จากนั้นทำการฝึกข้อมูล (Training) ท่าทางมือที่หลากหลาย ระบุท่าทางมือแต่ละท่าทาง และท่าทางมือที่รู้จักเพื่อถ่ายทอดข้อมูลตามท่าทางมือในแอปพลิเคชันคู่มือผู้ใช้ระบบ เปลี่ยนคู่มือผู้ใช้ที่ยังคงเป็นแบบแมนนวลให้กลายเป็นแอปพลิเคชันแบบที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้มากขึ้น โดยผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพที่แม่นยำถึง 95%

Sundar and Bagyammal (2022) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำภาษามือแบบอเมริกันสำหรับตัวอักษรโดยใช้ MediaPipe และ LSTM โดยศึกษาถึงแนวทางการรู้จำตัวอักษรภาษามือแบบอเมริกัน (ASL) ที่ง่ายและมีประสิทธิภาพโดยใช้การมองเห็นเพื่อจดจำท่าทางสัมผัสทั้งแบบคงที่และแบบไดนามิก โดยใช้ Mediapipe ที่เปิดตัวโดย Google ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจจับจุดสังเกตบนฝ่ามือ และชุดข้อมูลที่กำหนดเองได้ถูกสร้างขึ้นและใช้สำหรับการศึกษาเชิงทดลอง การรู้จำท่าทางมือทำได้โดยใช้หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) ระบบนี้ได้รับการตรวจสอบด้วยตัวอักษร 26 ตัว งานนี้สามารถใช้เพื่อแปลงท่าทางมือเป็นข้อความ และมีความแม่นยำถึง 99%

งานวิจัยที่อ้างอิงข้างต้นจะเห็นได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการตรวจจับท่าทางมือในงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาให้ผลความถูกต้องแม่นยำค่อนข้างสูง โดยเฉพาะงานวิจัยของ พิศณุ (2565) ได้วิจัยเกี่ยวกับ ระบบรู้จำท่าทางมือทางทหารด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล จำนวน 3 วิธีคือ โครงข่ายประสาทเทียม วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดและ การจับคู่แม่แบบ พบว่า วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลความถูกต้องมากที่สุด สอดคล้องกับ Indriani et al. (2021) และ Sundar and Bagyammal (2022) ที่ได้ทำการวิจัยโดยใช้ MediaPipe เช่นเดียวกันซึ่งทั้งสองระบบต่างก็ให้ผลความแม่นยำที่สูงมาก เนื่องจากอัลกอริทึมบนเทคนิคโครงกระดูกของ MediaPipe เป็นโมเดลที่ได้รับการฝึกฝนโดยใช้ข้อมูลภาพประมาณ 30,000 ภาพ ให้ความแม่นยำที่สูงกว่าเทคนิคอื่น ๆ รวมทั้งมีความรวดเร็วในการทำนาย ผู้พัฒนาจึงเลือกใช้ MediaPipe ในการพัฒนาระบบการตรวจจับท่าทางมือเพื่อเป็นสัญญาณขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์โดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ภาษามือ

ภาษามือ (Sign language) เป็นอวัจนภาษาที่มีการสื่อสาร ประกอบด้วย การสื่อสารด้วยมือ การสื่อสารด้วยร่างกาย และการใช้ริมฝีปากในการสื่อความหมายแทนการใช้เสียงพูด การสื่อสารจะใช้ลักษณะของมือที่ทำเป็นสัญลักษณ์ในการสื่อสารเป็นหลัก การเคลื่อนไหวมือ แขนและร่างกาย และการแสดงความรู้สึกทางใบหน้าเพื่อช่วยในการสื่อสารความคิดของผู้สื่อ ภาษาสัญลักษณ์ส่วนใหญ่มักใช้ในกลุ่มผู้บกพร่องทางการได้ยิน ภาษามือจึงมีความสำคัญในการสื่อสารระหว่างผู้บกพร่องทางการได้ยินและบุคคลธรรมดา ทำให้สามารถสื่อสารได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การสนทนา การซื้อสินค้า การแสดงความคิดเห็น เป็นต้น รวมทั้งยังเป็นการเพิ่มโอกาสให้บุคคลที่เป็นผู้บกพร่องทางการได้ยินได้รับการศึกษาอีกด้วย

ราษฎร์ (2551) ได้อธิบายว่า ภาษามือในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน สำหรับประเทศไทย ภาษามือไทยมีความแตกต่างจากภาษามือประเทศอื่น ๆ ภาษามือที่ใช้ในประเทศไทยมีหลายลักษณะ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ภาษาท่าทาง ภาษามือครอบครัว ภาษามือตามไวยากรณ์ภาษาไทย และภาษามือไทย

1. ภาษาท่าทาง (Gesture) เป็นการสื่อสารโดยการเคลื่อนไหวของร่างกายที่ไม่จำเป็นต้องพูดก็สามารถเข้าใจได้ตรงกัน
2. ภาษามือครอบครัว (Home sign) เป็นภาษามือที่คิดและใช้กันภายในครอบครัว เพื่อการสื่อสารระหว่างพ่อแม่และลูกที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน
3. ภาษามือตามไวยากรณ์ภาษาไทย (Signed thai) เป็นการใช้ภาษามือที่คัดลอกคำต่อคำจากประโยคภาษาไทย สำหรับการสื่อสารระหว่างครูและนักเรียนที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน
4. ภาษามือไทย (Thai sign language) เป็นภาษาแรกของคนหูหนวกไทย ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากภาษามืออเมริกัน

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

ในการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ โดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe นี้จะมีการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่เป็นไลบรารีที่ทำงานหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. MediaPipe framework คือ Machine learning solutions (ML) ที่สามารถใช้งานได้หลากหลายทั้งการตรวจจับท่าทาง ตรวจจับมือ ใบหน้าของมนุษย์ และตรวจจับวัตถุต่าง ๆ โดยในระบบนี้จะเป็นการตรวจจับท่าทางมือแบบ Real-time โดยในการพัฒนาระบบนี้จะใช้โมเดล 2 โมเดลด้วยกัน เพื่อให้สามารถตรวจจับท่าทางมือได้ คือ Palm detection model ที่ใช้ในการตรวจจับฝ่ามือ และ Hand landmarks detection model ที่ใช้ตรวจหาตำแหน่งของจุด Landmark แต่ละจุดบนฝ่ามือนั้น โดยในการพัฒนาระบบนี้จะใช้โมเดลที่ได้เรียนรู้จุดสังเกตของมือ (Hand landmarks) ซึ่งจะตรวจจับตำแหน่งคีย์พอยต์ของพิกัดของมือ และนิ้วจำนวน 21 ตำแหน่ง ภายในบริเวณมือที่ตรวจพบ ซึ่งโมเดลนี้ได้รับการฝึกฝนโดยใช้ภาพจริงประมาณ 30,000 ภาพ จึงมีความแม่นยำสูง “MediaPipe framework เป็นคอมโพเนนต์ระดับต่ำที่ใช้สร้างไปป์ไลน์แมชชีนเลิร์นนิงบนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ โดยลดความซับซ้อนของการสร้าง ML บนอุปกรณ์ที่ปรับแต่งได้ พร้อมใช้งานจริงและเข้าถึงได้ในทุกแพลตฟอร์ม” (Google Inc., 2023a)

ความสามารถในการรับรู้ รูปร่างและการเคลื่อนไหวของมือ สามารถเป็นองค์ประกอบสำคัญในการปรับปรุงประสบการณ์ผู้ใช้ในแพลตฟอร์มทางเทคโนโลยีต่าง ๆ โดยที่ MediaPipe เป็นเฟรมเวิร์กข้ามแพลตฟอร์มแบบโอเพ่นซอร์สสำหรับการสร้างไปป์ไลน์เพื่อประมวลผลข้อมูลการรับรู้ของรูปแบบต่าง ๆ เช่น วิดีโอและเสียง โดยการติดตามมือและนิ้วที่มีความแม่นยำสูงโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (ML) เพื่ออนุมานจุดสำคัญ 3 มิติ 21 จุดของมือจากเฟรมเดียว (Valentin and Fan, 2019).

2. OpenCV (Open-source computer vision) คือ ไลบรารีซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer vision) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) OpenCV ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้เป็นโครงสร้างพื้นฐานทั่วไปสำหรับแอปพลิเคชัน การมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมีเป้าหมายในการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์ (Real-time) โดย OpenCV ถูกพัฒนาขึ้นโดย Intel และเป็นไลบรารีแบบข้ามแพลตฟอร์ม และสามารถใช้งานได้ฟรีภายใต้ลิขสิทธิ์ของ BSD แบบ Open source โดย OpenCV ยังรองรับ Framework การเรียนรู้เชิงลึก Deep learning frameworks เช่น TensorFlow, Torch, PyTorch เป็นต้น OpenCV นั้นถูกเขียนขึ้นมาโดยภาษา C++ และยังมีการรองรับภาษา Python, Java และ Matlab โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ภาษา Python ในการพัฒนาระบบ (OpenCV, 2023)

ขั้นตอนการพัฒนา

ในส่วนของการพัฒนาระบบการตรวจจับท่าทางมือเพื่อเป็นสัญญาณขอความช่วยเหลือ ซึ่งเป็นเป้าหมายของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกที่จะเริ่มต้นจากสัญญาณมือขอความช่วยเหลือพื้นฐาน อีกทั้งผู้วิจัยยังตัดสินใจที่จะนำเอาแบบจำลองที่ถูกสร้างไว้อย่างดีแล้วของทีมนักวิจัยจากกูเกิลคือ MediaPipe มาต่อยอดเพื่อให้สามารถสร้างระบบต้นแบบที่นำไปสู่การตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องได้อย่างรวดเร็ว โดยผู้วิจัยได้นำผลลัพธ์ของมือข้างหนึ่ง ๆ ออกมาเป็นพิกัดสามมิติของจุดจำนวน 21 จุด ดังรูปที่ 3 โดยแต่ละจุด คือ ตัวแทนของจุดสังเกตของมือและนิ้ว (Hand landmarks) ซึ่งออกแบบมาโดยทีมนักวิจัยจากกูเกิล อย่างไรก็ตามพิกัดมือนี้จำเป็นต้องผ่านการวิเคราะห์อีกขั้นเพื่อให้สามารถสรุปได้ว่าเป็นการทำท่าทางมือขอความช่วยเหลือท่าทางใด โดยผู้วิจัยได้ทำการกำหนดจุดพิกัดต่าง ๆ ในแต่ละท่าทางมือด้วยตนเอง ซึ่งระบบการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์โดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน ดังนี้ 1) การกำหนดท่าทางมือเพื่อขอความช่วยเหลือ 2) การติดตามท่าทางมือ (Hand gesture tracking) 3) การตรวจจับท่าทางมือ (Gesture recognition) 4) การส่งการแจ้งเตือน (Send notification)

1. การกำหนดท่าทางมือเพื่อขอความช่วยเหลือ

การกำหนดท่าทางมือเพื่อขอความช่วยเหลือ ที่ระบบจะรับรู้พร้อมกับแปลความหมายของท่าทางมือเหล่านั้นออกมา โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวอย่างท่าทางมือขอความช่วยเหลือสากล (Signal for help) ที่ถูกกำหนดขึ้นโดยมูลนิธิสตรีแห่งแคนาดา จากประเทศแคนาดา (Canadian women's foundation) เพื่อเป็นท่าทางมือในการขอความช่วยเหลือ จากการถูกทำร้ายร่างกายจิตใจ หรือการถูกคุกคามต่าง ๆ โดยเป็นการส่งท่าทางมือโดยใช้มือเพียงข้างเดียว เพื่อให้สะดวกในการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือโดยท่าทาง ซึ่งท่าทางมือเป็นการส่งสัญญาณแสดงท่าทีว่าต้องการขอความช่วยเหลือโดยด่วน แต่ไม่สามารถพูดหรือใช้เสียงขอความช่วยเหลือได้โดยตรง ซึ่งท่าทางมือทั้งหมดจะมีจำนวน 6 ท่าทาง ดังแสดงในตารางที่ 1 ตามลำดับดังนี้

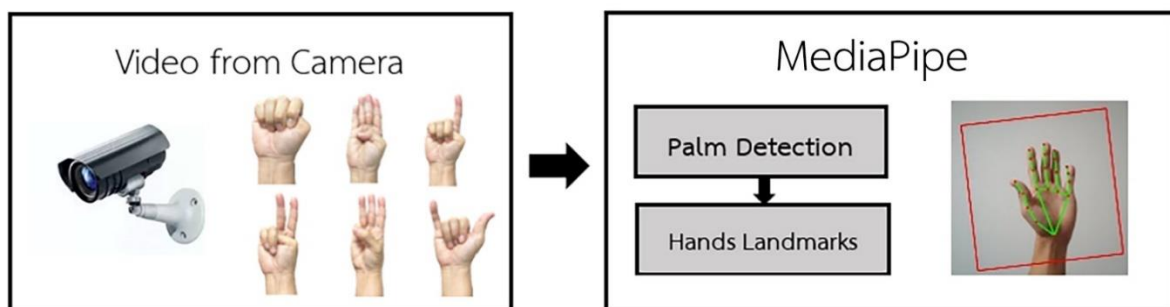
ขอความช่วยเหลือ (Signal for help) ต้องการความช่วยเหลือ (Need help) ต้องการตำรวจ (Need police) ต้องการรถพยาบาล (Need ambulance) มาหาฉัน (Visit me) โทรหาฉัน (Call me)

ตารางที่ 1 การกำหนดท่าทางมือและความหมาย

ท่าทางมือ	ความหมาย	ท่าทางมือ	ความหมาย
	ขอความช่วยเหลือ (Signal for help)		ต้องการความช่วยเหลือ (Need help)
	ต้องการตำรวจ (Need police)		ต้องการรถพยาบาล (Need ambulance)
	มาหาฉัน (Visit me)		โทรหาฉัน (Call me)

2. การติดตามท่าทางมือ (Hand gesture tracking)

การติดตามท่าทางมือในงานวิจัยนี้จะใช้ MediaPipe framework ซึ่งเป็น Machine learning ที่ใช้ในการจับท่าทางของมือ หรือ Hand tracking ข้อดี คือ ความรวดเร็วแบบ Real-time และความสะดวกในการเรียกใช้งาน MediaPipe ที่พัฒนาโดยกูเกิ้ลนั้น เพื่อที่จะฝึกระบบให้เรียนรู้จับภาพนิ้วมือได้อย่างแม่นยำ นักวิจัยต้องกำหนดพิกัดทั้ง 21 จุดเองก่อน ลงในภาพมือ จำนวน 30,000 ภาพ ในหลายอิริยาบถและในสภาพแสงที่ต่างไป เมื่อตำแหน่งท่าทางของมือถูกระบุได้แล้ว ระบบจะเปรียบเทียบกับรูปแบบมือกับฐานข้อมูลท่าทางตั้งแต่สัญลักษณ์ตัวอักษรและตัวเลขแบบภาษามือ รวมถึงคำอื่น ๆ ผลลัพธ์คืออัลกอริทึมทำงานได้เร็วและแม่นยำ



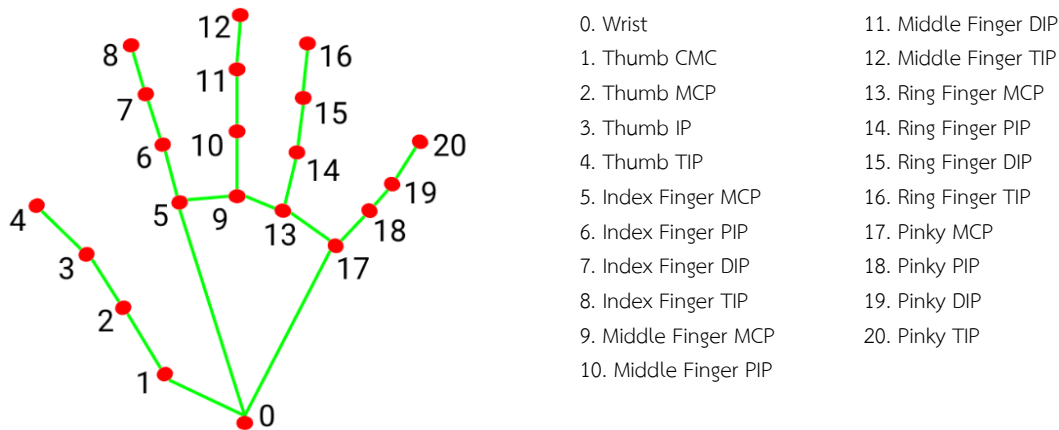
รูปที่ 2 ขั้นตอนการติดตามมือโดยใช้ MediaPipe

จากรูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการทำงานโดยรับภาพวิดีโอจากกล้อง แล้วนำเฟรมภาพที่ได้มาตรวจหาฝ่ามือและตำแหน่งของนิ้วมือโดย MediaPipe framework ซึ่งจะประกอบด้วย 2 โมเดลหลัก ในการทำงาน คือ

1) โมเดลการตรวจจับฝ่ามือในภาพ (Palm detection model) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การตรวจจับจากวิดีโอ โดยการนำเฟรมภาพในวิดีโอมาประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของฝ่ามือ และทำการตีกรอบฝ่ามือ เพื่อให้ระบบสนใจแค่บริเวณฝ่ามือเท่านั้น

2) โมเดลตรวจจับตำแหน่งสำคัญ (Hand landmarks detection model) จะทำการระบุตำแหน่งสำคัญของฝ่ามือและนิ้วมือ จำนวน 21 จุด ดังรูปที่ 3 ที่เชื่อมโยงกับข้อนี้ ปลายนิ้ว รวมถึงระยะห่างของแต่ละนิ้วโดยอาศัยขนาดและองศาของฝ่ามือ

โดยจะทำการเรียกใช้ Palm detection model เฉพาะเฟรมแรกเท่านั้น และจะทำการเรียกอีกครั้งหากไม่พบมือในเฟรมภาพ เพื่อให้ระบบไม่ต้องตรวจหาฝ่ามือทุกครั้งและทุกเฟรม และขั้นตอนสุดท้ายคือการแสดงผลหรือแจ้งเตือน

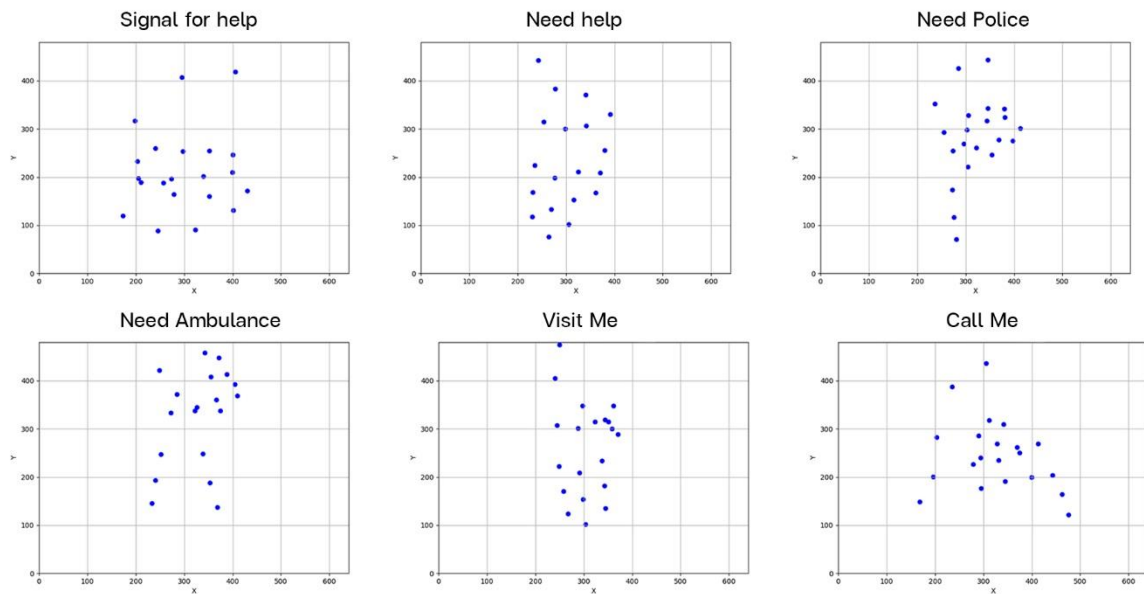


รูปที่ 3 Hand Landmarks (Google Inc, 2023)

3. การตรวจจับท่าทางมือ (Gesture recognition)

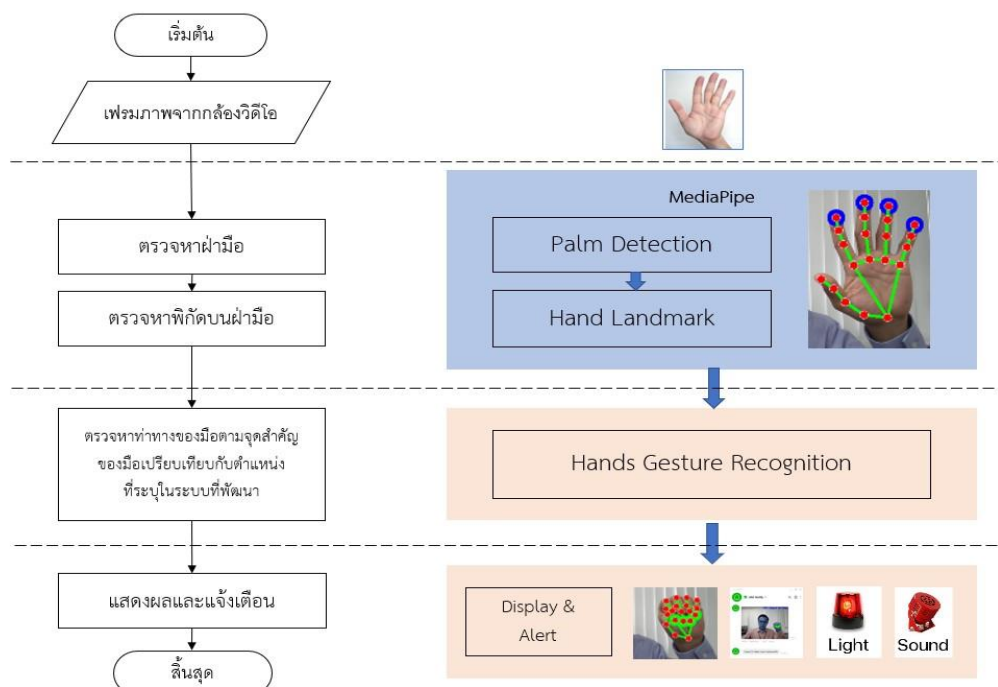
ขั้นตอนการตรวจจับท่าทางมือ โดยหลังจากกำหนดจุด Landmarks แล้วระบบจะสามารถตรวจจับท่าทางมือได้จากการระบุตำแหน่งแกน x และแกน y ตามท่าทางมือแบบต่าง ๆ ในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งทำงานร่วมกันระหว่าง Palm detection model และ Hand landmarks model โดยใช้ภาษา Python ในการพัฒนาระบบในการกำหนดจุดพิกัดบนแกน X, Y ของมือในท่าทางมือขอความช่วยเหลือทั้ง 6 ท่าทาง ตัวอย่างเช่น พิกัด [4, 8, 12, 16, 20] เป็นพิกัดของปลายนิ้วและการกำหนดค่าก็จะกำหนดให้เป็นปลายนิ้ว และจะทำการเปรียบเทียบพิกัดของปลายนิ้วตามตำแหน่ง x (แนวนอน) และ y (แนวตั้ง) กับจุดกึ่งกลางพิกัด [2, 6, 10, 14, 18] หากพิกัดเปรียบเทียบปลายนิ้วมีค่าสูงกว่าจุดกึ่งกลาง แสดงว่านิ้วอยู่ในสภาพเปิด (แบมือ) และในทางกลับกันก็คือการกำมือ เป็นต้น

ในขั้นตอนต่อไปหลังจากกำหนดเงื่อนไขของนิ้วแต่ละนิ้วว่าเปิดหรือปิดตามที่กล่าวมาแล้วจะทำการกำหนดค่าของนิ้วทั้งหมดและเปรียบเทียบทุกตำแหน่งของนิ้วมือ (1 สำหรับนิ้วเปิดและ 0 สำหรับนิ้วปิด) ถ้าตรงตามเงื่อนไขและผลลัพธ์เป็นจริง โปรแกรมจะทำงานตามคำสั่งที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของระบบการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ จะมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 Hand landmarks จำนวน 21 จุด บนแกน X, Y ของมือและนิ้วเมื่อทำท่าทางมือขอความช่วยเหลือ

จากรูปที่ 4 ตัวอย่างของพิกัดจุดสามมิติจำนวน 21 จุด ในงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการใช้เฟรมเวิร์ค MediaPipe เพื่อวิเคราะห์มือที่กำลังทำท่าทางมือขอความช่วยเหลือ ทั้ง 6 ท่าทาง ทั้งนี้เนื่องจากแกน Y ของ MediaPipe กับโปรแกรมของผู้วิจัยแตกต่างกัน ผลลัพธ์ในภาพจึงเป็นภาพที่กลับหัวบนล่างดังที่ปรากฏ ทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าภาพจุดต่าง ๆ บนตำแหน่งแกน X และ Y ในรูปที่ 4 นั้นจะตรงกับท่าทางมือขอความช่วยเหลือทั้ง 6 ท่า เพียงแต่เป็นลักษณะกลับหัวในแกน Y เท่านั้น



รูปที่ 5 ขั้นตอนการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์

ในรูปที่ 5 เป็นขั้นตอนการทำงานของระบบการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์โดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe โดยเริ่มจากกล้องอ่านเฟรมภาพจากกล้องวิดีโอ จากนั้นระบบจะตรวจจับว่า

มีฝ่ามืออยู่ในภาพหรือไม่ เมื่อตรวจพบฝ่ามือระบบจะคำนวณกรอบของฝ่ามือที่ตรวจพบและครอบตัดรูปภาพตามกรอบ เมื่อตรวจพบฝ่ามือระบบจะพิจารณาจุดสังเกตของมือ (Hands landmarks) และดึงจุดสังเกตของมือออกมา หลังจากแยกจุดสังเกตของมือออกมาแล้ว ระบบจะเปรียบเทียบท่าทางมือที่ตรวจจับได้ว่าตรงกับท่าทางมือขอความช่วยเหลือหรือไม่ ถ้าตรวจพบระบบจะทำการส่งการแจ้งเตือนเพื่อขอความช่วยเหลือ และแจ้งเตือนตามแต่ละท่าทางที่ตรวจพบต่อไป

4. การส่งแจ้งเตือน (Send notification)

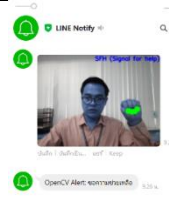
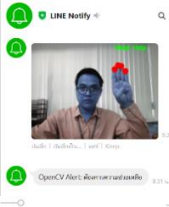
ในระบบการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือฯ จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายหลังจากรับภาพวิดีโอจากกล้อง โดยนำเฟรมภาพมาตรวจจับหาฝ่ามือ ตีกรอบฝ่ามือ ตรวจจับหาพิภัก 21 จุด บนฝ่ามือ และทำการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือแล้ว ระบบจะทำการส่งการแจ้งเตือน โดยจะสามารถส่งการแจ้งเตือนได้ 3 วิธี คือ

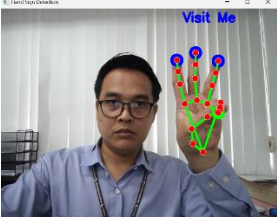
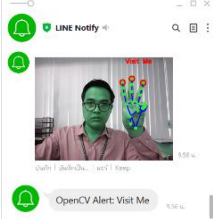
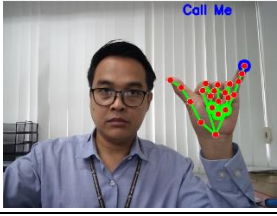
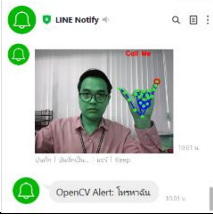
1) ส่งการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ (LINE) ที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยการส่งข้อความการแจ้งเตือนตามท่าทางมือที่ตรวจสอบได้ รวมทั้งส่งภาพของมือและภาพของบุคคลที่ทำท่าทางมือเพื่อระบุตัวบุคคล เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งที่บุคคลนั้น ๆ อยู่และส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือมา

2) การส่งการแจ้งเตือนในรูปแบบเสียงแจ้งเตือนผ่านลำโพง ซึ่งอาจติดตั้งไว้ในห้องควบคุมที่ดูแลความปลอดภัยผ่านไมโครคอลโทรลเลอร์ เพื่อไปควบคุมการเปิดปิดสัญญาณที่ส่งไปยังกริ่งหรือลำโพงแจ้งเตือน

3) การแจ้งเตือนผ่านไฟกระพริบ ผ่านไมโครคอลโทรลเลอร์ ที่จะส่งสัญญาณไปควบคุมการเปิด-ปิดสัญญาณไฟกระพริบหรือไฟหมุนฉุกเฉิน ซึ่งวิธีการนี้อาจเหมาะสำหรับผู้ดูแลความปลอดภัยที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน หรือหน่วยงานที่มีผู้พิการทางการได้ยิน ซึ่งรับรู้ผ่านทางรูปแบบของภาพและแสงได้ดี

ตารางที่ 2 ผลของการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ไปยังแอปพลิเคชันไลน์ (LINE)

ลำดับ	ท่าทางมือ	การแสดงผลทางหน้าจอ	การแจ้งเตือนด้วยข้อความและภาพ
1	Signal for help		
2	Need help		
3	Need police		
4	Need ambulance		

5	Visit me		
6	Call me		

จากตารางที่ 2 แสดงท่าทางมือที่ทำการตรวจจับได้และแสดงผลออกทางจอภาพที่แสดงให้เห็นฝ่ามือที่ตรวจจับได้จากโมเดล Palm detection และจุดคีย์พอยต์ของมือที่ตรวจจับโดยโมเดล Hand landmarks พร้อมกับการแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (LINE) โดยใช้ภาษา Python โดยกำหนดค่า Token ของ Line notify ซึ่งการแจ้งเตือนประกอบไปด้วยท่าทางมือขอความช่วยเหลือ จำนวน 6 ท่าทาง คือ 1) ขอความช่วยเหลือ (Signal for help) 2) ต้องการความช่วยเหลือ (Need help) 3) ต้องการตำรวจ (Need police) 4) ต้องการรถพยาบาล (Need ambulance) 5) มาหาฉัน (Visit me) และ 6) โทรหาฉัน (Call me) ตามลำดับ

การประเมินประสิทธิภาพ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์โดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe จะใช้วิธี Confusion matrix ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการทำนาย (Prediction) โดยใช้ True label และ Predict label เป็นตัวชี้วัด โดยมีรูปแบบเป็นตาราง 2x2 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูล Label

	Predicted Positive	Predicted Negative
Actual Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)
Actual Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)

- True Positive (TP) คือ จำนวนของเคสที่ True label และ Predict label เป็น Positive
- True Negative (TN) คือ จำนวนของเคสที่ True label และ Predict label เป็น Negative
- False Positive (FP) คือ จำนวนของเคสที่ True label เป็น Negative แต่ Predict label เป็น Positive
- False Negative (FN) คือ จำนวนของเคสที่ True label เป็น Positive แต่ Predict label เป็น Negative

ตาราง Confusion matrix ใช้วัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ถูกสร้างขึ้นมาว่ามีการทำนายถูกต้องหรือไม่ โดยจะสามารถคำนวณหาค่า Precision, Recall, F1-Score และ Accuracy ได้จากจำนวน TP, FP, FN และ TN ดังนั้นข้อมูลใน Confusion matrix นี้ ถูกใช้เพื่อปรับแต่งโมเดลหรือเลือกโมเดลที่ดีที่สุดสำหรับงานที่กำลังทำได้ (ScienceDirect, 2019)

Accuracy หมายถึง ค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัด ในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง
Precision หมายถึง ค่าความแม่นยำที่เกิดจากการนำค่า TP มาเทียบกับ FN
Recall หมายถึง ค่าความถูกต้องที่เกิดจากการนำค่า TP มาเทียบกับ FN
F1 Score หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแม่นยำและค่าความถูกต้อง

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}$$

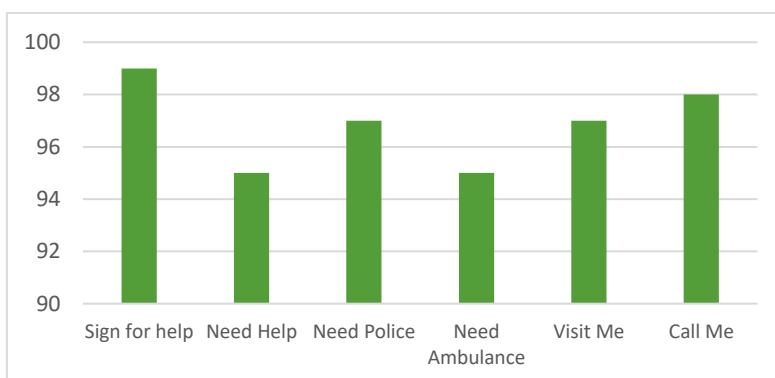
$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP}$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN}$$

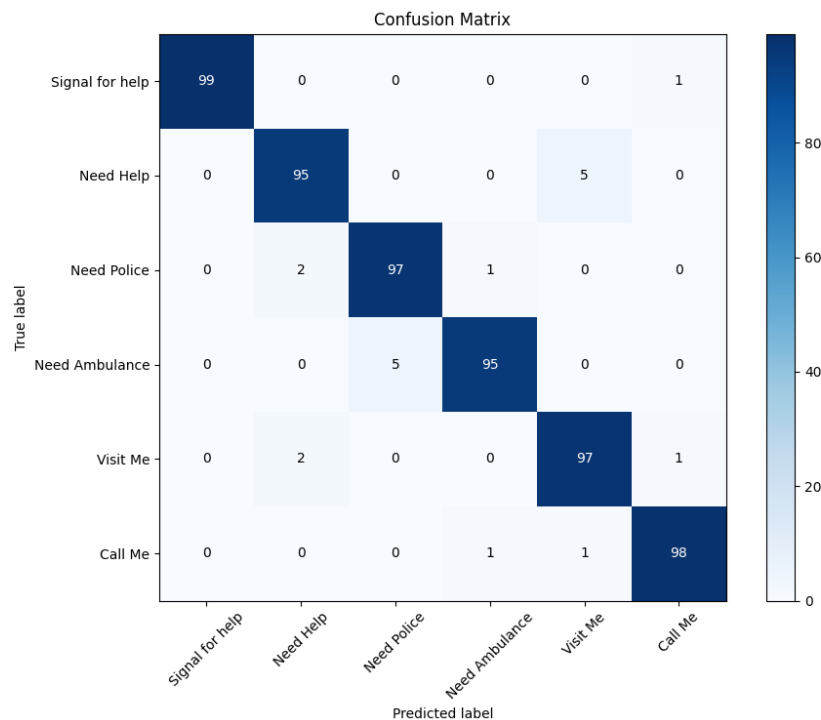
$$\text{F1 Score} = 2 \times \frac{\text{Pr} \times \text{Re}}{\text{Pr} + \text{Re}}$$

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจากการวัดประสิทธิภาพโดยใช้ Confusion matrix ในภาษา Python โดยจะใช้ไลบรารี Scikit-learn ในการสร้างตาราง Confusion matrix จะเห็นได้จากการตรวจจับและทำนายท่าทางมือขอความช่วยเหลือ โดยใช้ท่าทางมือขอความช่วยเหลือทั้ง 6 ท่าทาง จากการทดสอบโดยการถ่ายภาพท่าทางมือทดสอบ ท่าทางมือละ 100 ภาพ รวมทั้งหมด 6 ท่าทาง รวมเป็น 600 ภาพ ความถูกต้องของท่าทางมือขอความช่วยเหลือทั้ง 6 ท่า อยู่ในช่วง 95–99% และเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละท่าจะได้ดังกราฟในรูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของทั้ง 6 ท่าจะเป็น 97% เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมกับท่าทางมือหรือภาษามือเหมือนกันถือว่ามีความถูกต้องที่ดีมาก เหมาะที่จะนำไปทดลองท่าทางอื่น ๆ ต่อไป



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองท่าทางขอความช่วยเหลือ



รูปที่ 7 Confusion matrix แสดงประสิทธิภาพการจำแนกของการรู้จำท่าทางของมือ

จากรูปที่ 7 Confusion matrix ประสิทธิภาพการจำแนกประเภทของการรู้จำท่าทางของมือ ซึ่งแสดงผลลัพธ์ของการทำนายและป้ายกำกับที่ถูกต้อง โดยใช้สีเข้มแสดงค่าที่สูงขึ้นและสีอ่อนแสดงค่าที่ต่ำลงเพื่อให้แสดงผลให้อ่านง่ายขึ้น

จากตาราง Confusion matrix แสดงความถูกต้องของการทำนายผลของการตรวจจับท่าทางมือ จำนวน 6 ท่าทาง พบว่าบางท่าทางที่มีตำแหน่งการวางมือคล้ายกัน หรือใกล้เคียงกัน เช่น Need help ที่ได้ผลการทำนาย 95% กับ Visit me ที่ได้ผลการทำนาย 97% มีลักษณะใกล้เคียงกัน หรือ Need ambulance ที่ได้ผลการทำนาย 95% กับ Visit me ที่ได้ผลการทำนาย 97% มีลักษณะการวางมือและนิ้วใกล้เคียงกัน จะเกิดความผิดพลาดเล็กน้อยหากว่าระยะห่างของมือภายในเฟรมภาพอยู่ห่างและมีขนาดภาพฝ่ามือที่เล็ก ความชัดเจนของภาพ สภาพแสง ล้วนมีผลกับการทำนายท่าทางมือทั้งสิ้น

Classification Report:				
	precision	recall	f1-score	support
Signal for help	1.00	0.99	0.99	100
Need Help	0.96	0.95	0.95	100
Need Police	0.95	0.97	0.96	100
Need Ambulance	0.98	0.95	0.96	100
Visit Me	0.94	0.97	0.96	100
Call Me	0.98	0.98	0.98	100
accuracy			0.97	600
macro avg	0.97	0.97	0.97	600
weighted avg	0.97	0.97	0.97	600

รูปที่ 8 ผลการคำนวณท่าทางมือ

จากรูปที่ 8 ผลการคำนวณท่าทางมือ จะได้ค่าความถูกต้องของท่าที่ 1-6 ของชุดข้อมูลอยู่ในช่วง 95-99% โดยข้อมูลที่โปรแกรมจัดสร้างแบ่งขึ้นมา 600 ชุด ค่า F1 score ซึ่งจากค่าที่บ่งบอกมานั้นถือว่าความผิดพลาดน้อยมาก ค่าความแม่นยำ 97%

การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ โดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe โดยได้ตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือ จำนวน 6 ท่าทาง จากการทดสอบโดยใช้ภาพท่าทางมือทดสอบ ท่าทางมือละ 100 ภาพ รวมทั้งหมด 6 ท่าทาง รวมเป็น 600 ภาพ ความถูกต้องของท่าทางมือขอความช่วยเหลือทั้ง 6 ท่า อยู่ในช่วง 95-99% ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของทั้ง 6 ท่าจะเป็น 97% เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับงานวิจัยของ พิศณุ (2564) ที่ได้วิจัยเกี่ยวกับระบบรู้จำท่าทางมือทางทหารด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล ทำการตรวจจับและรู้จำท่าทางของมือทางทหารจากอัลกอริทึม จำนวน 3 วิธีคือ โครงข่ายประสาทเทียม วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด และการจับคู่แม่แบบผลลัพธ์ที่ได้พบว่า วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลความถูกต้องมากที่สุดคือ 82% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Indriani et al. (2021) ที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแอปพลิเคชันคู่มือของผู้ใช้อย่างง่ายโดยใช้เฟรมเวิร์ก MediaPipe โดยทำการจับภาพแบบเรียลไทม์โดยใช้ Kinect จากนั้นทำการฝึกข้อมูล (Training) และนำมาพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อถ่ายทอดข้อมูลตามท่าทางมือในแอปพลิเคชันคู่มือผู้ใช้ระบบ โดยผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพที่แม่นยำถึง 95% จะเห็นได้ว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยเฉพาะ MediaPipe ที่ได้ผ่านการเรียนรู้จากภาพจำนวนมากทำให้สามารถจำแนกท่าทางมือได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วเป็นอย่างมาก โดยในงานวิจัยนี้ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการจำแนกท่าทางมือที่มีความแตกต่างกับงานวิจัยอื่น ๆ คือ ระยะห่างของนิ้วมือแต่ละนิ้วจะมีผลต่อการจำแนกท่าทางมือ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อกำหนดตำแหน่งพิกัดมือที่ได้กำหนดตำแหน่งไว้ภายในโปรแกรมภาษา Python ในแต่ละท่าทางมือจะมีการกำหนดค่าที่แตกต่างกัน รวมทั้งความใกล้เคียงและความไกลของภาพมือภายในภาพที่ตรวจจับได้ ความคมชัดของภาพ รวมทั้งสภาพแสง ก็จะมีผลต่อผลการจำแนกท่าทางมือเนื่องจากระยะของภาพที่ไกลออกไปจะทำให้ได้ภาพถ่ายมือขนาดเล็ก เมื่อโปรแกรมนำมา Crop แต่ภาพของฝ่ามือจะทำให้ความละเอียดของภาพฝ่ามือมีความละเอียดที่ต่ำ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจำแนกท่าทางมือ จึงทำให้เกิดความแตกต่างกันของผลการจำแนกท่าทาง ซึ่งถ้าบางท่าทางที่มีลักษณะการวางนิ้วมือใกล้เคียงกันระบบอาจจำแนกผิดพลาดได้

บทสรุป

ระบบการตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ โดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe โดยได้ตรวจจับท่าทางมือขอความช่วยเหลือ จำนวน 6 ท่าทาง จากการทดสอบโดยใช้ภาพท่าทางมือทดสอบ ท่าทางมือละ 100 ภาพ รวมทั้งหมด 6 ท่าทาง รวมเป็น 600 ภาพ ความถูกต้องของท่าทางมือขอความช่วยเหลือทั้ง 6 ท่าทาง อยู่ในช่วง 95-99% ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ โดยท่าทางมือบางท่าทางที่มีความคล้ายหรือใกล้เคียงกัน อาจเกิดความผิดพลาดจากการทำนายได้ หากระยะห่างของบุคคลกับกล้องห่างไกลกันมากทำให้ภาพฝ่ามือที่ตรวจจับได้มีขนาดเล็กและเมื่อนำมาจำแนกจะไม่มีคมชัดทำให้ความไม่แม่นยำในการจำแนกของโมเดลลดลงได้ โดยในระบบนี้ให้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องเท่ากับ 97% ซึ่งในการวิจัยระยะต่อไปในอนาคตควรปรับปรุงให้สามารถจำแนกภาพที่อยู่ห่างไกลจากกล้องได้มากยิ่งขึ้นโดยอาจใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยให้ภาพคมชัดและสามารถจำแนกได้ง่ายขึ้นกว่าในปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ. (2565). รายงานข้อมูลสถานการณ์ด้านคนพิการในประเทศไทย. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2566. https://dep.go.th/images/uploads/files/Data_situa-mar66.xlsx.
- ภัทรณัฐ ศรีบุญเรือง, พันธกรณ์ ทะนันชัย, คเชนทร์เทพ แขกระโทก, วุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์ และปราโมทย์ อนันต์วรพงษ์. (2565). โปรแกรมแปลภาษามือเป็นข้อความและเสียงพูดโดยการใช้วิธีการระบุพิกัดตำแหน่งด้วย MediaPipe. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. 10(2): 66-76.
- ณัฏยา เปลี่ยนวงษ์ และธนภัทร ชั่งคะจิตร. (2565). ระบบแปลคำศัพท์ภาษามือไทยโดยการเรียนรู้เชิงลึกบนข้อมูลบางส่วน. วารสารบัณฑิตวิทยาลัย. 2: 119-132.
- พิศณุ คูมีชัย. (2564). ระบบรู้จำท่าทางมือทางทหารด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล. วารสารวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม. 2(5): 28-36.
- ราษฎร์ บุญญา. (2551). ภาษามือ: ภาษาของคนหูหนวก. วารสารวิทยาลัยราชสุดาเพื่อการศึกษาและพัฒนาคนพิการ. 1: 77-94.
- Google Inc. (2023a). MediaPipe Framework. Accessed 12 Aug. 2023. <https://developers.google.com/mediapipe/framework>.
- Google Inc. (2023b). Hand landmarks detection guide. Accessed 10 Sep. 2023. https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker.
- Indriani M.H. and Ali S.A. (2021). Applying hand gesture recognition for user guide application using MediaPipe. Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021). 207: 101–108.
- OpenCV. (2023). About OpenCV. Accessed 12 Aug. 2023. <https://opencv.org>.
- ScienceDirect. (2019). Confusion matrix. Accessed 16 Sep. 2023. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/confusion-matrix>
- Sundar B. and Bagyammal T. (2022). American sign language recognition for alphabets using MediaPipe and LSTM. 4th International Conference on Innovative Data Communication Technology and Application, Procedia Computer Science. 215: 642–651.
- The Canadian Women's Foundation. (2020). Signal for help responder. Accessed 16 Sep. 2023. <https://canadianwomen.org/signal-for-help>.
- Valentin B. and Fan Z. (2019). On-device, Real-time hand tracking with MediaPipe. Accessed 16 Sep. 2023. <https://ai.googleblog.com/2019/08/on-device-realtime-hand-tracking-with.html>.

ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสพริกที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp.

Effect of hydrogen peroxide on the control of chili anthracnose caused by *Colletotrichum* sp.

ศิริโสภา อินขะ วรรณวงศ์^{1*} วิโรจ ชมภู¹ และกมลพร ปานง่อม²

Sirisopha Inkha Wannawong^{1*}, Wirot Chompoo¹ and Kamonporn Panngom²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่

¹Department of Crop Production Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae Province

²กลุ่มวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่

²Department of Basic Science, Maejo University Phrae Campus, Phrae Province

*Corresponding Author E-mail Address : kungking_261@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide: H₂O₂) ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum* sp.) ในพริก มี 2 การทดลองโดยทั้ง 2 การทดลองวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) การทดลองที่ 1 การบ่มสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลท NMK-MJ01 ในสารละลาย H₂O₂ ที่ความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ (mM) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาปลูกเชื้อบนผลพริก การทดลองที่ 2 การปลูกเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลท NMK-MJ01 บนผลพริก เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วพ่นด้วยสารละลาย H₂O₂ ที่ความเข้มข้นดังกล่าวข้างต้นบนผลพริก เป็นเวลา 4 วัน ติดต่อกัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) และไม่ปลูกเชื้อ ผลของ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและ เปอร์เซ็นต์ดัชนีความรุนแรงของโรคที่บ่มในวันที่ 7 พบว่า สารละลาย H₂O₂ สามารถยับยั้งการเกิดโรคและความรุนแรงของโรค ในการทดลองที่ 1 ได้ดีกว่าการทดลองที่ 2 โดยเฉพาะสารละลาย H₂O₂ ที่ความเข้มข้น 40 และ 80 mM มีการเกิดโรคเท่ากับ 26.00 และ 16.00 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีความรุนแรงของโรคเท่ากับ 13.33 และ 9.25 เปอร์เซ็นต์ และขนาดของแผลเท่ากับ 12.93 และ 11.60 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนการทดลองที่ 2 มี เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและเปอร์เซ็นต์ดัชนีความรุนแรงของโรคบนผลพริกที่สูง ดังนั้นสารละลาย H₂O₂ สามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสในพริก เพื่อเพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิตพริก

คำสำคัญ: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โรคแอนแทรคโนส *Colletotrichum* sp. พริก

Abstract

The objective of this research is to study the effect of hydrogen peroxide (H₂O₂) solution on controlling anthracnose disease caused by *Colletotrichum* sp. Two experiments were set up, and a completely randomized design (CRD) was used in both studies. Experiment 1 was performed by incubating the fungal spore of isolate no. NMK-MJ101 in H₂O₂ solution at concentrations of 10, 20, 40, and 80 millimolar (mM) for 3 hours before artificially inoculating on chili fruits. Experiment 2 was conducted by artificially inoculating

the fungal spore of isolate no. NMK-MJ01 on chili fruits for 72 hours before spraying the chili fruits with H_2O_2 solutions at the same concentrations as experiment 1 once a day for 4 consecutive days. Distilled water was used as a control in both experiments. The results of disease incidence and disease severity index were collected on day 7 of experiments. The H_2O_2 solution was able to inhibit disease incidence and disease severity in experiment 1 better than experiment 2. In experiment 1, 40 and 80 mM H_2O_2 solutions showed disease incidences of 26.00 and 16.00 percent, respectively, disease severity indices of 13.33 and 9.25 percent respectively, and lesion diameters of 12.93 and 11.60 mm, respectively. In experiment 2, the percentage disease incidence and percentage disease severity were high. Therefore, H_2O_2 solution can be used for controlling fungal anthracnose disease to increase the quality and quantity of chili products.

Keywords: Hydrogen peroxide, Anthracnose disease, *Colletotrichum* sp., Chili

บทนำ

พริกเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยพริกเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมแปรรูปทั้งอาหาร ยา และเวชสำอาง ในทางสังคมก่อให้เกิดการรวมกลุ่มของเกษตรกร เพื่อประกอบธุรกิจขนาดเล็กและขนาดกลาง เป็นพืชที่คนไทยนิยมบริโภค จากสถานการณ์ปัจจุบันพริกไม่เพียงแต่บริโภคภายในประเทศไทย แต่ยังส่งไปขายต่างประเทศ ได้แก่ สิงคโปร์ มาเลเซีย เม็กซิโก สเปน เนเธอร์แลนด์ และแคนาดา จึงทำให้มีการส่งเสริมการปลูกพริกทั่วทุกภาคของประเทศไทยและตลอดทั้งปี ในปี พ.ศ. 2564 พบว่าพริกมีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 133,847 ไร่ โดยแหล่งผลิตพริกที่มีพื้นที่ปลูกมากกว่า 10,000 ไร่ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เพชรบูรณ์ อุบลราชธานี นครศรีธรรมราช และพัทลุง ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 3,500 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาขายได้ 40 บาทต่อกิโลกรัม (กลุ่มส่งเสริมพืชผักและเห็ด, 2565) สำหรับปัญหาที่พบในการผลิตพริกเกิดจากโรคและแมลง ทำให้เกิดความเสียหายทั้งปริมาณและคุณภาพเป็นมหาศาลในแต่ละฤดูปลูก โดยโรคที่มีการระบาดและเกิดปัญหากับการผลิตพริก ได้แก่ โรคแอนแทรคโนส หรือโรคกุ้งแห้ง ที่ทำให้พริกที่ปลูกในประเทศไทยได้รับความเสียหายจากการระบาดของโรคแอนแทรคโนสมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Montri et al., 2009) ซึ่งมีสาเหตุจากเชื้อราในสกุล *Colletotrichum* ในประเทศไทยพบเชื้อราสาเหตุในสกุลนี้จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *C. gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. capsici* และ *C. siamense* ที่สามารถเข้าทำลายทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวพบทั้งพริกผลสีแดงและผลสีเขียว (สวิตา และคณะ, 2560) โดยมีรายงานว่าเชื้อโรคชนิดหลักจำนวน 2 ชนิด คือ *C. gloeosporioides* และ *C. capsici* ที่ทำความเสียหายให้กับพริกที่ปลูกในประเทศไทยเป็นจำนวนมากที่สุด (Pakdeevaporn et al., 2005) จึงทำให้เกษตรกรใช้สารเคมีในปริมาณมาก และจากการใช้สารเคมีในการทำการเกษตรในพื้นที่ทำให้เกษตรกรได้รับผลกระทบด้านสุขภาพ เนื่องจากการใช้สารเคมีในการเกษตรทำให้เกษตรกรเล็งเห็นถึงความสำคัญในการผลิตพืชปลอดสารพิษเพื่อลดปัญหาด้านทุนการผลิตสูงและปัญหาด้านสุขภาพ อีกทั้งจากปัญหาด้านการตลาด ทำให้การจำหน่ายพริก ณ ตลาดไท และตลาดสี่มุมเมือง พ่อค้าไม่รับซื้อเนื่องจากมีปริมาณสารเคมีตกค้างค่อนข้างสูง และเกษตรกรส่วนใหญ่ที่จำหน่ายพริกเข้าสู่โรงงานจำเป็นต้องผลิตพริกคุณภาพ (สำนักงานเกษตรจังหวัดแพร่, 2563)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) มีสูตรโมเลกุลคือ H_2O_2 เป็นสารที่ประกอบด้วยออกซิเจนสองโมเลกุลและเชื่อมกันด้วยพันธะเดี่ยว มีสภาพเป็นของเหลวใส หนักกว่าน้ำเล็กน้อย มีรสขม ไม่อยู่ตัว เป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent) หรือสารที่เพิ่มจำนวนออกซิเจนได้ ประกอบด้วย Peroxide linkage (-O-O-) โดยปกติหากวางไว้ในที่มีแสงและอุณหภูมิสูงจะช่วยให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (ประภัสสร, 2561) มากกว่านี้ H_2O_2 มีฤทธิ์ในการฟอกขาวรวมถึงยับยั้งการเจริญเติบโต และสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อราต่าง ๆ รวมถึงสปอร์ได้ การใช้ H_2O_2 ใช้เวลาไม่นานและจะสลายตัวเหลือแต่น้ำกับโมเลกุลของออกซิเจนซึ่งจะไม่เหลือสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมจึงไม่มีปัญหาการระคายเคืองและไม่มีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง (ศศิภัส และคณะ, 2557) อีกทั้งยังเป็นสารที่ได้รับการรับรองว่าเป็น Generally Recognized As Safe (GRAS) มีรายงานการใช้สารละลาย H_2O_2 30 มิลลิกรัม/ลิตร ล้างเบบี๋สปีแนซทำให้เชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* 0157:H7 และ *Listeria monocytogenes* ลดลง 0.6 และ 0.8 log CFU/g ตามลำดับ (Zhou et al., 2023) การแช่เมล็ดไหม้และเมล็ดถั่วปากอ้าในสารละลาย H_2O_2 ก่อนนำไปปลูก พบว่าสามารถควบคุมโรครากเน่าและโรคเหี่ยวของต้นกล้าที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา

Fusarium oxysporum, *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* และ *Rhizoctonia solani* ได้ (Abdel-Monaim, 2013; Ali, 2018) และเมื่อพ่นต้นกล้ามันฝรั่งด้วยสารละลาย H_2O_2 5 mM ทำให้ความรุนแรงของโรคใบไหม้ที่เกิดจากเชื้อรา *Alternaria solani* ของต้นกล้ามันฝรั่งสายพันธุ์ Nicola และ Spunta เท่ากับ 14.00 และ 20.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมของต้นกล้ามันฝรั่งทั้ง 2 สายพันธุ์มีความรุนแรงของโรคเท่ากับ 42.60 และ 61.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยพบว่า H_2O_2 สามารถชักนำให้ต้นกล้ามันฝรั่งต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรค (Nassar and Adss, 2016) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสในพริกที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp. โดยทดสอบ 2 การทดลอง เพื่อศึกษาภาพในการนำไปใช้ทดแทนหรือลดการใช้สารเคมีป้องกันโรคแอนแทรคโนสของพริกในระดับแปลงปลูกของเกษตรกร

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การแยกเชื้อรา *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรคแอนแทรคโนสพริก และการพิสูจน์โรค

เก็บตัวอย่างพริกที่แสดงอาการของโรคแอนแทรคโนสจากแปลงปลูกพริกของเกษตรกร อ.หนองม่วงไข่ จ.แพร่ แล้วนำมาแยกเชื้อ *Colletotrichum* sp. ด้วยวิธี Tissue transplanting method บนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) แยกเชื้อจนได้เชื้อที่บริสุทธิ์ แล้วนำเชื้อที่แยกได้ไปพิสูจน์ความสามารถในการเกิดโรคบนผลพริกตามวิธีการของ Koch's postulate (Agrios, 2005) โดยในการทดลองครั้งนี้ใช้พริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 ในการทดลอง หลังจากระบุชนิดจากลักษณะลักษณะการเจริญของเส้นใยบนอาหาร PDA ลักษณะสัณฐานวิทยาของสปอร์ และการสร้าง Acervuli ของเชื้อราบนตัวอย่างพริกที่เป็นโรค ทำการเก็บรักษาเชื้อราบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตลอดการทดลอง

การศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสพริกที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp.

นำเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ที่มีอายุ 14 วัน มาเลี้ยงในอาหารเหลว Vogel Media (VM) บนเครื่องเขย่าแบบหมุนวนเป็นเวลา 5 วัน แล้วเก็บสปอร์โดยการกรองสปอร์ด้วยกระดาษกรองแผ่นเยื่อ Merricot จำนวน 2 ชั้น ใส่สปอร์ลงในหลอดเซนต์ปีทาสติก ขนาด 15 มิลลิลิตร นำสปอร์ที่ได้ไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 rpm เป็นเวลา 5 นาที เทอาหารเหลวทิ้งให้เหลือเพียงตะกอนของสปอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อและนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ความเร็ว 3000 rpm เป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำกลั่นทิ้งให้เหลือเพียงตะกอนของสปอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อจำนวนหนึ่ง จากนั้นนับจำนวนสปอร์และเจือจางสปอร์ให้ได้ความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์/มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำกลั่นฆ่าเชื้อจะได้สารแขวนลอยสปอร์เตรียมโดยใช้น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ การศึกษาผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสด้วย 2 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 บ่มสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ในสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 4 ระดับคือ 10, 20, 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ (mM) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาปลูกเชื้อโดยวิธีหยดสารแขวนลอยสปอร์ (Drop-inoculation) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงบนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 โดยพริกที่ใช้ทดสอบนี้เก็บเกี่ยวมาจากแปลงปลูกพริกของเกษตรกร อ.หนองม่วงไข่ จ.แพร่ ไม่เกิน 24 ชั่วโมง มีการคัดขนาดและสีให้มีความสม่ำเสมอ และต้องปราศจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง ล้างผลพริกด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 ครั้ง หลังจากนั้นล้างสารละลายโซเดียมคลอไรด์ออกจากผลพริกด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อจำนวน 3 ครั้ง และทำผลบนผลพริกเท่ากันทุกผลตรงกึ่งกลางของผลด้วยเข็มหมุดจำนวน 9 เล่ม ที่มีความลึก 2 มิลลิเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ทุกครั้ง แล้วบ่มผลพริกที่ผ่านการปลูกเชื้อไว้ในกล่องพลาสติก ที่อุณหภูมิ 28 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 72 ± 3 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) เพื่อยืนยันการปลูกเชื้อจะส่งผลเมื่อไม่ใช้สารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และไม่ปลูกเชื้อ เพื่อยืนยันการปลูกเชื้อว่ามีสาเหตุมาจากเชื้อที่ได้ทำการปลูกเชื้อ จากการไม่เกิดโรค

การทดลองที่ 2 ปลูกเชื้อรา *Colletotrichum* sp. โดยวิธีหยดสารแขวนลอยสปอร์ (Drop-inoculation) ความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงบนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 โดยสารแขวนลอยสปอร์และพริกที่ใช้ทดสอบเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แล้วบ่มผลพริกที่ผ่านการปลูกเชื้อไว้ในกล่องพลาสติก ที่อุณหภูมิ 28 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 72 ± 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และพ่นสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 4 ระดับคือ 10, 20, 40 และ 80 mM บนผลพริก เป็นเวลา 4 วัน ติดต่อกัน วันละ 1 ครั้ง โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ

(น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) และไม่ปลูกเชื้อ โดยทั้ง 2 การทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 6 สิ่งทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ผล บันทึกผลการทดลองเมื่อปมผลพริกเป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (เปอร์เซ็นต์ Disease Incidence: DI) โดยการนับจำนวนผลพริกที่เกิดโรค และประเมินความรุนแรงของโรคโดยใช้เกณฑ์คะแนนความรุนแรงตามวิธีการของ Montri et al. (2009) แบ่งระดับการเป็นโรคออกเป็น 6 ระดับ ดังตารางที่ 1 แล้วนำค่าคะแนนการเป็นโรคของผลพริก มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนีความรุนแรงของโรค (เปอร์เซ็นต์ Disease Severity Index: DSI) (1) และวัดขนาดของแผลหน่วยเป็นมิลลิเมตร มาหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (เปอร์เซ็นต์ Inhibition) (2)

สูตรคำนวณดัชนีความรุนแรงของโรค (Disease Severity Index: DSI) (McMaugh, 2008)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ Disease Severity Index (DSI)} = \frac{\sum(n \times v)}{N} \times \frac{100}{M} \quad (1)$$

n = จำนวนผลที่ประเมินค่าคะแนนการเป็นโรคที่มีค่าคะแนน v

v = ค่าคะแนนการเป็นโรคของผลที่ถูกประเมินการเป็นโรค (0 - 9)

N = จำนวนผลทั้งหมด

M = ค่าคะแนนการเป็นโรคสูงสุด

$$\text{เปอร์เซ็นต์ Inhibition} = \frac{C-T}{C} \times 100 \quad (2)$$

C = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของแผลบนผลพริกในชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) หน่วยเป็นมิลลิเมตร

T = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของแผลบนผลพริกในชุดที่ใช้สารละลาย H₂O₂ ความเข้มข้นต่าง ๆ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย ค่าแสดงความผิดพลาด ; Mean±S.D. และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

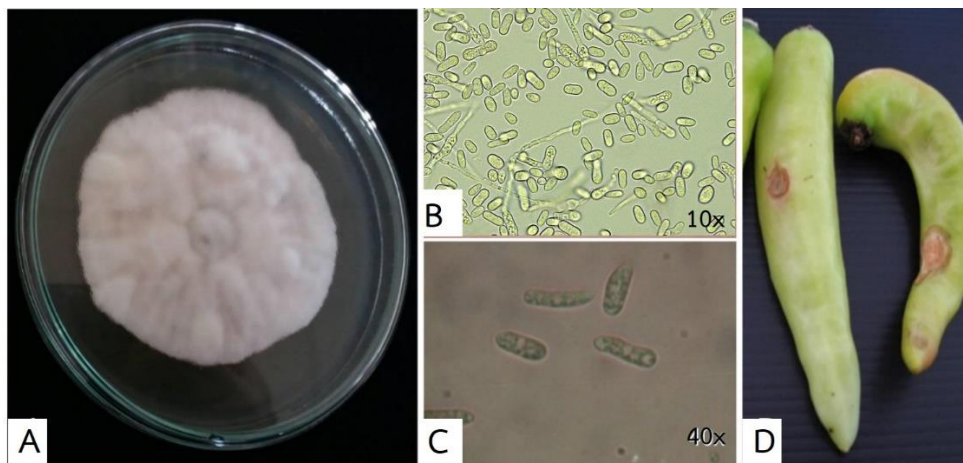
ตารางที่ 1 คะแนนการเป็นโรคแอนแทรคโนสของผลพริก และระดับความต้านทานของโรค (Montri et al., 2009)

Score	Resistance level	Symptom details
0	HR, Highly Resistant	No infection
1	R, Resistant	1-2 เปอร์เซ็นต์ of the fruit area shows necrotic lesion or a larger water-soaked lesion surrounding the infection site
3	MR, Moderately Resistant	>2-5 เปอร์เซ็นต์ of the fruit area shows necrotic lesion, acervuli may be present, or water-soaked lesion up to 5 เปอร์เซ็นต์ of the fruit surface
5	MR, Moderately Susceptible	>5-15 เปอร์เซ็นต์ of the fruit area shows necrotic lesion, acervuli present, or water-soaked lesion up to 25 เปอร์เซ็นต์ of the fruit surface
7	S, Susceptible	>15-25 เปอร์เซ็นต์ of the fruit area shows necrotic lesion with acervuli
9	HS, Highly Susceptible	>25 เปอร์เซ็นต์ of the fruit area shows necrotic lesion often encircling the fruit; abundant acervuli

ผลการวิจัย

การแยกเชื้อและการพิสูจน์โรค

จากการนำผลพริกที่แสดงอาการโรคแอนแทรคโนส ที่มีลักษณะปรากฏแผลเป็นวงรีหรือวงกลมสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ แผลยุบตัวลงไปบนเนื้อเยื่อพืช จากแปลงปลูกพริกของเกษตรกร อ.หนองม่วงไข่ จ.แพร่ มาทำการแยกเชื้อสาเหตุด้วยวิธี Tissue transplanting method ผลการทดลองพบว่า เชื้อราสามารถเจริญบนอาหาร PDA ได้ดี มีลักษณะการเจริญของเส้นใยในช่วงแรกเป็นสีขาว เมื่อเวลาผ่านไปจะเปลี่ยนเป็นสีขาวอมเทา ลักษณะของเส้นใยค่อนข้างหยาบ พบการสร้างกลุ่มสปอร์สีส้ม (Spore mass) บนโคโลนี (รูปที่ 1A) เมื่อตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10x และ 40x พบลักษณะของสปอร์รูปร่างทรงกระบอกหัวท้ายมน (Cylindrical) เป็นลักษณะเซลล์เดียว ไม่มีสี (Hyaline) (รูปที่ 1B และ 1C) และเมื่อทดสอบความสามารถในการทำให้เกิดโรคบนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 โดยวิธีหยดสารแขวนลอยสปอร์ (Drop-inoculation) ลงบนผลพริก พบว่า ลักษณะอาการของผลพริกที่ปลูกด้วยเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ในระยะเริ่มแรกจะแสดงอาการเกิดจุดดำน้ำขึ้นในบริเวณที่ทำการปลูกเชื้อรา โดยที่ผิวของผลพริกจะเกิดลักษณะเป็นรอยบวมเล็กน้อย และบริเวณอาการดำน้ำเกิดการขยายตัวเป็นรูปวงกลมหรือวงรี นอกจากนี้ยังเกิดลักษณะเป็นแผลกลมรีที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ประมาณ 1-2 เซนติเมตร เนื้อเยื่อของผลพริกในบริเวณแผลเกิดการยุบตัวลงเป็นแอ่ง เมื่อเริ่มเกิดใหม่ ๆ แผลจะมีลักษณะเป็นสีเหลืองส้ม และมี acervuli ที่มีลักษณะเป็นสีเหลืองส้มเรียงซ้อนกันเป็นวง ๆ อยู่ในบริเวณแผลที่เกิดขึ้นบนผลพริก และแผลมีลักษณะค่อนข้างแฉะ หลังจากนั้นแผลจะกลายเป็นสีน้ำตาลดำ (รูปที่ 1D) ซึ่งตรงกับลักษณะอาการของโรคแอนแทรคโนสพริกที่เก็บมาจากแปลงเกษตรกร



รูปที่ 1 โคโลนีของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลท NMK-MJ01 ที่แยกจากผลพริกที่แสดงอาการโรคแอนแทรคโนสจาก อ.หนองม่วงไข่ จ.แพร่ เมื่อเลี้ยงเชื้อบนอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน (A) ลักษณะสปอร์ของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10x และ 40x (B และ C) ลักษณะอาการของโรคแอนแทรคโนสเมื่อทดสอบความสามารถในการทำให้เกิดโรคบนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 (D)

ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสพริกที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp.

การทดลองที่ 1 เมื่อปลูกเชื้อในผลพริกเป็นเวลา 7 วัน พบว่า สปอร์แขวนลอยที่บ่มในสารละลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้มากขึ้นตามลำดับ โดยสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 80 mM สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ก่อโรคได้ดีที่สุด เนื่องจากมี เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคบนผลพริกเท่ากับ 16.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 40 mM มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเท่ากับ 26.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 10, 20 mM และชุดควบคุมปลูกเชื้อ มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคมกที่สุดเท่ากับ 100.00, 100.00 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อที่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเท่ากับ 0.00 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของดัชนีความรุนแรงของโรคพบว่า ผลพริกที่ผ่านการปลูกเชื้อราที่บ่มสปอร์ในสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 80 และ 40 mM มีดัชนีความรุนแรงของโรคน้อยที่สุดเท่ากับ 9.25 และ 13.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่

ชุดควบคุมปลูกเชื้อที่บ่มสปอร์ในน้ำกลั่น สารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 10 และ 20 mM มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากที่สุดเท่ากับ 78.60, 77.03 และ 74.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อที่มีดัชนีความรุนแรงของโรคเท่ากับ 0.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2, รูปที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 80 และ 40 mM มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งมากที่สุดเท่ากับ 6.48 และ 5.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

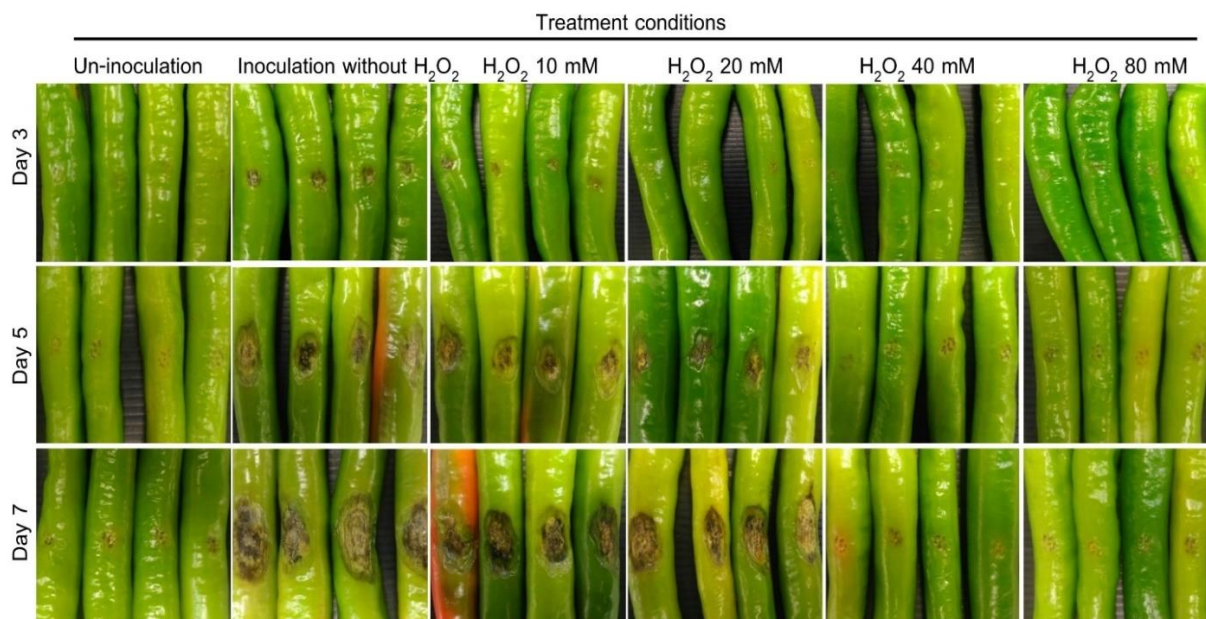
การทดลองที่ 2 หลังจากการปลูกเชื้อและบ่มผลพริกเป็นเวลา 7 วัน ทุกชุดการทดลองมี เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังพบว่า ชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) และสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 40 mM มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากที่สุดเท่ากับ 80.73, 77.77, 77.77 และ 77.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคือ สารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 80 mM ที่มีดัชนีความรุนแรงของโรคเท่ากับ 75.92 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3, รูปที่ 3) ส่วน เปอร์เซ็นต์การยับยั้งยังไม่มีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) ในขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อไม่มีการเกิดโรค

ตารางที่ 2 การเกิดโรค (เปอร์เซ็นต์) และดัชนีความรุนแรงของโรค (เปอร์เซ็นต์) บนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 เมื่อบ่มสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลต NMK-MJ01 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใน สารละลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ (mM) โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) และไม่ปลูกเชื้อ แล้วปลูกเชื้อในผลพริกเป็นเวลา 7 วัน

Treatments	Disease Incidence (เปอร์เซ็นต์)			Disease Severity Index (เปอร์เซ็นต์)		
	Day 3	Day 5	Day 7	Day 3	Day 5	Day 7
Un-inoculation	0.00 ^c ±0.00	0.00 ^c ±0.00	0.00 ^d ±0.00	0.00 ^c ±0.00	0.00 ^c ±0.00	0.00 ^c ±0.00
Inoculation without H_2O_2	60.00 ^a ±10.00	100.00 ^a ±0.00	100.00 ^a ±0.00	20.00 ^a ±2.72	52.93 ^a ±0.40	78.60 ^a ±1.17
Inoculation + H_2O_2 10 mM	36.66 ^b ±5.77	100.00 ^a ±0.00	100.00 ^a ±0.00	8.89 ^b ±1.57	52.42 ^a ±1.28	77.03 ^a ±1.05
Inoculation + H_2O_2 20 mM	30.00 ^b ±10.00	100.00 ^a ±0.00	100.00 ^a ±0.00	9.25 ^b ±2.92	50.94 ^a ±0.23	74.73 ^a ±2.75
Inoculation + H_2O_2 40 mM	0.00 ^c ±0.00	13.33 ^b ±5.77	26.00 ^b ±5.77	0.00 ^c ±0.00	4.44 ^b ±1.57	13.33 ^b ±2.40
Inoculation + H_2O_2 80 mM	0.00 ^c ±0.00	6.66 ^{bc} ±5.77	16.00 ^c ±5.77	0.00 ^c ±0.00	2.96 ^b ±2.28	9.25 ^b ±2.62
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V. (เปอร์เซ็นต์)	29.53	6.25	5.82	33.75	5.65	5.64

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±S.D. (n=30)

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)



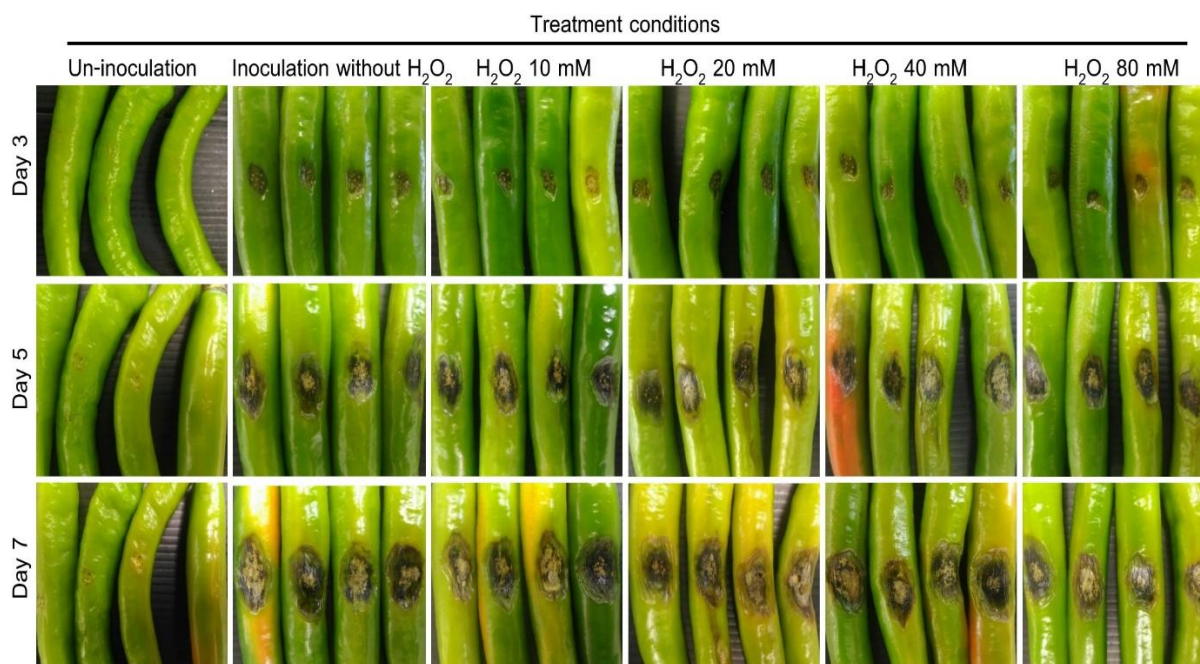
รูปที่ 2 การเกิดโรคแอนแทรคโนสบนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 เมื่อบ่มสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลต NMK-MJ01 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสารละลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ (mM) โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) และไม่ปลูกเชื้อ แล้วปลูกเชื้อในผลพริกเป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 3 การเกิดโรค (เปอร์เซ็นต์) และดัชนีความรุนแรงของโรค (เปอร์เซ็นต์) บนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 เมื่อปลูกเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลต NMK-MJ01 ลงบนผลพริกเป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วพ่นผลพริกที่ผ่านการปลูกเชื้อด้วยสารละลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 80 mM เป็นเวลา 4 วัน ติดต่อกัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) และไม่ปลูกเชื้อ และบ่มผลพริกเป็นเวลา 7 วัน

Treatments	Disease incidence (%)			Disease severity index (%)		
	Day 3	Day 5	Day 7	Day 3	Day 5	Day 7
Uninoculation	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^b ±0.00	0.00 ^c ±0.00	0.00 ^c ±0.00
Inoculation without H_2O_2	94.00 ^a ±9.81	100.00 ^a ±0.0	100.00 ^a ±0.0	51.23 ^a ±3.81	65.18 ^a ±3.77	80.73 ^a ±2.10
Inoculation + H_2O_2 10 mM	100.00 ^a ±0.0	100.00 ^a ±0.0	100.00 ^a ±0.0	54.31 ^a ±1.74	61.72 ^{ab} ±1.7	77.77 ^{ab} ±0.0
	0	0	0		4	0
Inoculation + H_2O_2 20 mM	94.00 ^a ±9.81	100.00 ^a ±0.0	100.00 ^a ±0.0	47.52 ^a ±6.11	59.26 ^{ab} ±0.0	77.77 ^{ab} ±3.0
		0	0		0	3
Inoculation + H_2O_2 40 mM	94.00 ^a ±9.81	100.00 ^a ±0.0	100.00 ^a ±0.0	48.76 ^a ±4.37	58.02 ^b ±3.49	77.77 ^{ab} ±0.0
		0	0			0
Inoculation + H_2O_2 80 mM	94.00 ^a ±9.81	100.00 ^a ±0.0	100.00 ^a ±0.0	47.52 ^a	58.51 ^b ±4.19	75.92 ^b ±2.62
		0	0	±3.15		
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	10.88	0.00	0.00	11.02	6.80	3.47

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±S.D. (n=30)

^{a-c} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)



รูปที่ 3 การเกิดโรคแอนแทรคโนสบนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 เมื่อปลูกเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลต NMK-MJ01 ลงบนผลพริกเป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วพ่นผลพริกที่ผ่านการปลูกเชื้อด้วยสารละลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 80 mM เป็นเวลา 4 วัน ติดต่อกัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) และไม่ปลูกเชื้อ และบ่มผลพริกเป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 4 การยับยั้ง (เปอร์เซ็นต์) การเกิดแผลบนผลพริกหนุ่มเขียวพันธุ์หยกสยาม 1059 ของการบ่มสารแวนิลอยสปอร์เชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลต NMK-MJ01 ในสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 80 mM เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาปลูกเชื้อบนผลพริก (การทดลองที่ 1) และการปลูกเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลต NMK-MJ01 บนผลพริก เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วพ่นด้วยสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้นดังกล่าวข้างต้นบนผลพริก เป็นเวลา 4 วัน ติดต่อกัน (การทดลองที่ 2) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) เมื่อบ่มผลพริกเป็นเวลา 7 วัน

Treatments	Inhibition (%)	
	Experiment 1	Experiment 2
Inoculation without H_2O_2	0.71 ^b ±0.00	0.71 ^b ±0.00
Inoculation+ H_2O_2 10 mM	2.37 ^b ±1.03	2.89 ^a ±1.41
Inoculation+ H_2O_2 20 mM	2.10 ^b ±1.84	2.97 ^a ±1.16
Inoculation+ H_2O_2 40 mM	5.97 ^a ±0.59	3.48 ^a ±0.92
Inoculation+ H_2O_2 80 mM	6.48 ^a ±0.72	4.40 ^a ±0.50
F-test	*	*
C.V. (%)	29.20	32.51

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±S.D. (n = 30) เนื่องจากข้อมูลเปอร์เซ็นต์การยับยั้งไม่ได้เป็นแบบ Normal distribution ด้วยเหตุนี้จึงได้แปลงข้อมูล (Data transformation) โดยวิธี Square root ก่อนนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance)

^{a-b} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

การอภิปรายผล

จากการแยกและระบุเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพริกที่มีการระบาดในพื้นที่ อ.หนองม่วงไข่ จ.แพร่ เชื้อราที่แยกได้ คือ *Colletotrichum* sp. ไอโซเลท NMK-MJ01 มีลักษณะสัณฐานวิทยาที่ตรงกับเชื้อรา *Colletotrichum* sp. (Sutton, 1992) สอดคล้องกับ ปิลันธนา และชนากานต์ (2559) รายงานการแยกเชื้อสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสที่มีการระบาดในพื้นที่ อ.หนองม่วงไข่ จ. แพร่นั้น เป็นเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ซึ่งมีลักษณะสปอร์เซลล์เดียว สี ไม่มีสี รูปร่างทรงกระบอกหัวท้ายมน การเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อสาเหตุในระยะแรกสร้างเส้นใยสีขาว จากนั้นค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเทา และมีการเจริญเป็นวงซ้อนกันและสร้าง Sclerotia ฝังตัวอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA การศึกษาเปรียบเทียบผลของ H_2O_2 ในการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริกด้วย 2 การทดลอง ให้ผลการทดลองที่มีความแตกต่างกันนั้น โดยการบ่มสปอร์แขวนลอยในสารละลาย H_2O_2 มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดโรคและความรุนแรงของโรค โดยสปอร์แขวนลอยที่บ่มด้วยสารละลาย H_2O_2 ก่อนการนำไปปลูกเชื้อบนผลพริกนั้นถูกทำลายจนทำให้โครงสร้างภายในของสปอร์เกิดความเสียหายทำให้เชื้อราตายหรือหมดความสามารถในการก่อโรคบนผลพริกมีรายงานว่า H_2O_2 มีผลกับเชื้อราได้โดยจะทำให้เกิด Oxidizing effect ภายในเซลล์ จะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ผ่านกระบวนการ Lipid oxidation และไปทำลายโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนภายในเซลล์ (Gálvez-Marroquín et al., 2022; Zhou et al., 2023) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Eloy et al. (2015) พบว่า สาร H_2O_2 ปริมาณมากจะเข้าทำลายเซลล์ของเชื้อราเกิดปฏิกิริยา การย่อยไขมันในบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ มากกว่านั้นปริมาณของสาร H_2O_2 จากภายนอกเซลล์ (Exogenous H_2O_2) จะทำให้เชื้อราเกิดภาวะเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stress) ที่ส่งผลต่อการยับยั้งการงอกของสปอร์และโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง (Angelova et al., 2005) ขณะที่สาร H_2O ปริมาณน้อยจะทำให้เชื้อราเกิดการเจริญเติบโตและส่งเสริมให้เชื้อราก่อโรคในพืชได้ อย่างไรก็ตาม นอกจากความแตกต่างของปริมาณของสาร H_2O_2 มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราแล้วยังขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อราด้วย (Ivanova et al., 2005) ที่โดยทั่วไปแล้วกลไกการก่อโรคแอนแทรคโนสของเชื้อราสกุล *Colletotrichum* นั้นมี 2 ระยะ ระยะ 1 Biotrophic phase เส้นใยปฐมภูมิจะยึดเกาะกับผิวผล และสปอร์ของเชื้อราจะเกิดการงอก (Germ tube) ผ่านผ่านชั้น Epidermal cell ของพืช ผ่านโครงสร้าง Appressorium ที่สามารถดันส่วนปลายที่งอกแทรกเข้าไปในเซลล์พืช โดยเชื้อราจะหลั่งโปรตีนขนาดเล็กและดูดซับสารทุติยภูมิจากพืช ระยะ 2 Necrotrophic phase เชื้อราจะสร้างเส้นใยทุติยภูมิแตกกิ่งก้านผ่านเนื้อเยื่อพืช และปล่อยเอนไซม์ที่ทำให้เซลล์พืชเสื่อมสภาพ และลดการตอบสนองต่อการป้องกันตนเองของพืช ทำให้เนื้อเยื่อตายเกิดลักษณะอาการของโรค โดยวงจรทั้ง 2 ระยะ จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ใช้ระยะเวลาระหว่าง 24-72 ชั่วโมง (Eloy et al., 2015; Saxena et al., 2016; Yeimmy et al., 2023) Pring et al. (1995) รายงานว่า เชื้อรา *C. capsici* สามารถแทงผ่านชั้น Cuticle ของ Cowpea ในเวลา 24 ชั่วโมง หลังการปลูกเชื้อ โดยพบการสลายของ Cuticle และเอนไซม์ที่ใช้ในการสลาย ซึ่งในช่วงนี้พืชยังไม่แสดงอาการของโรค Gálvez-Marroquín et al. (2022) รายงานโรคแอนแทรคโนสมะม่วงพบว่า สารละลาย H_2O_2 0.16 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และสารละลาย H_2O_2 ที่ยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. 50 เปอร์เซ็นต์ และ 95 เปอร์เซ็นต์ (CE₅₀ และ CE₉₅) เท่ากับ 0.10 และ 0.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ Moreno-Hernández et al. (2022) รายงานว่า สารละลาย H_2O_2 1.50 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *C. asianum* โดยทำให้เส้นใยและสปอร์ของเชื้อราเสียหาย ในขณะที่การทดลองปลูกเชื้อราก่อโรคบนผลพริกก่อน แล้วพ่นด้วยสารละลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นั้น ให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคน้อยกว่าการทดลองข้างต้น อาจเนื่องจากเชื้อรามีความสามารถในการเจริญเติบโตเข้าไปในเนื้อเยื่อของผลพริกแล้ว โดย Eloy et al. (2015) กล่าวว่าเชื้อรา *C. gloeosporioides* สามารถงอกและสร้าง Germ tube และ Appressorium ได้ตั้งแต่การบ่มสปอร์เชื้อรากับพืชในชั่วโมงที่ 12 และสามารถแทรกเข้าไปในเซลล์พืชได้ในชั่วโมงที่ 24 และเชื้อราเกิดการสร้าง Acervuli ในพืชได้ในชั่วโมงที่ 48 ซึ่งทำให้เกิดการก่อโรคและความรุนแรงของโรคเพิ่มขึ้นในพืช ถึงแม้ว่าพ่นด้วยสารละลาย H_2O_2 เป็นเวลา 4 วัน ติดต่อกัน หรืออาจเป็นไปได้ว่าสารละลาย H_2O_2 ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถสลายตัวกลายเป็นน้ำและปลดปล่อยออกซิเจนออกมาได้ง่าย เมื่อมีแสงและอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ประภัศร, 2561) ดังนั้นการพ่นด้วยสารละลาย H_2O_2 หลังจากที่ได้เชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลท NMK-MJ01 เข้าทำลายพริกแล้ว คุณสมบัติในการสลายตัวของสารดังกล่าว อาจทำให้สภาพแวดล้อมบริเวณที่พ่นสารเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราสาเหตุโรค ทำให้หลังจากพบอาการของโรคไม่สามารถควบคุมหรือลดความรุนแรงของโรคได้

บทสรุป

จากการแยกและระบุชนิดของเชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสพริกจากแปลงเกษตรกรในพื้นที่ อ.หนองม่วงไข่ จ.แพร่ พบว่าเป็นเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลท NMK-MJ01 และเมื่อศึกษาวิธีการควบคุมโรคแอนแทรคโนสด้วยสารละลาย H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า การบ่มสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลท NMK-MJ01 ในสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 40 และ 80 mM เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนปลูกเชื้อลงบนผลพริก ทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและเปอร์เซ็นต์ดัชนีความรุนแรงของโรคน้อยที่สุด วิธีนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว โดยการแช่ผลพริกที่เก็บเกี่ยวมาแล้วในสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 40 mM เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ขณะที่การปลูกเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ไอโซเลท NMK-MJ01 ลงบนผลพริกก่อนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง และตามด้วยการพ่นผลพริกด้วยสารละลาย H_2O_2 เป็นเวลา 4 วัน ติดกัน หลังจากปลูกเชื้อพบว่า สารละลาย H_2O_2 ทุกความเข้มข้นมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่ไม่แตกต่างกันกับชุดควบคุมปลูกเชื้อ ส่วนสารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 80 mM มีเปอร์เซ็นต์ดัชนีความรุนแรงของโรคน้อยกว่าชุดควบคุมปลูกเชื้อ ซึ่งจากการสังเกตในระหว่างการเก็บข้อมูลการใช้สารละลาย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 80 mM ไม่พบความเสียหายของผลพริก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการ บทบาทของสารประกอบที่ว่องไวปฏิกิริยาต่อการเจริญและเปลี่ยนแปลงของเซลล์เชื้อราก่อโรคแอนแทรคโนสในพริก (รหัสทุนวิจัย มพ.1-60-060) และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่กรุณาให้การสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ตลอดจนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มส่งเสริมพืชผักและเห็ด. (2565). พริก. ค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2566. <http://www.agriman.doe.go.th/home/news/2565/22chili.pdf>
- ประภัสสร ศิลปะศาสตร์ดำรง. (2561). ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเครื่องสำอาง (สารเคมีใกล้ตัวกว่าที่คิด). ค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2566. http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/BIO_4_2561_Hydrogen_peroxide.pdf
- ปิลันธนา ฐานพวงษ์วรกุล และชนากานต์ รัตนศักดิ์ชัยชาญ. (2559). ประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากเศษเหลือพริกต่อการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ในสภาพห้องปฏิบัติการ. วารสารเกษตร. 32(1): 61-72.
- ศศิภัส เพชรชู, เฉลิมชัย ชัยกิตติภรณ์, วิชัย พุกกะธาราธิกุล, พิพัฒน์ ลักษมีจักรกุล, วชิระ สิงหะเคนทร์ และธีระ กลลดาเกรียงไกรเคนทร์. (2557). การศึกษาประสิทธิภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลังจากการอบฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศของห้องผ่าตัด. ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15 “15th Khon Kaen University Graduate Research Conference: 50 Years of Social Devotion Khon Kaen University” 28 มีนาคม 2557. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 1399-1407.
- สวิตา สุวรรณรัตน์, ปฐวิภา สงกุมาร, Siegrid Steinkellner และสมศิริ แสงโชติ. (2560). การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ cutinase และ endopolygalacturonase ของเชื้อรา *Colletotrichum capsici* ในช่วงการเข้าทำลายบนผลพริก. วารสารเกษตร. 33(3): 357-366.
- สำนักงานเกษตรจังหวัดแพร่. (2563). การผลิตพริกปลอดภัย. ค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2566. http://alc.doe.go.th/wp-content/uploads/2020/04/แพร่_ถอดบทเรียน63.pdf.
- Abdel-Monaim M.F. (2013). Improvement of biocontrol of damping-off and root rot/wilt of faba bean by salicylic acid and hydrogen peroxide. Mycobiology. 41(1): 47-55.
- Agrios G.N. (2005). Plant Pathology. 5th ed. Academic Press. New York. 592 p.

- Ali A.A.M. (2018). Role of hydrogen peroxide in management of root rot and wilt disease of thyme plant. *Journal of Phytopathology and Pest Management*. 5(3): 1-13.
- Angelova M.B., Pashova S.B., Spasova B., Vassilev S. and Slokoska L.S. (2005). Oxidative stress response of filamentous fungi induced by hydrogen peroxide and paraquat. *Mycological Research*. 109(2): 150-158.
- Eloy Y.R.G., Vasconcelos I.M., Barreto A.L.H., Freire-Filho F.R. and Oliveira J.T.A. (2015). H₂O₂ plays an Important role in the lifestyle of *Colletotrichum gloeosporioides* during interaction with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Fungal Biology*. 119(8): 747-757.
- Gálvez-Marroquín L.A., Martínez-Bolaños M., Cruz-Chávez M.A., Ariza-Flores R., Cruz-López J.A., Magaña-Lira N., Cruz de la Cruz L.L. and Ariza-Hernández F.J. (2022). Inhibition of mycelial growth and conidium germination of *Colletotrichum* sp. for organic and inorganic products. *Agro Productividad*. 5(2): 25-32.
- Ivanova A.E., Aslanidi K.B., Karpenko Y.V. and Belozerskaya T.A. (2005). The effect of hydrogen peroxide on the growth of microscopic mycelial fungi isolated from habitats with different levels of radioactive contamination. *Microbiology*. 74(6): 655-663.
- McMaugh T. (2008). Guidelines for Surveillance for Plant Pests in Asia and the Pacific. ACIAR monograph No. 119c. Australia. 199 p.
- Montri P., Taylor P.W.J. and Mongkolporn O. (2009). Pathotypes of *Colletotrichum capsici*, the causal agent of chili anthracnose, in Thailand. *Plant Disease*. 93(1):17-20.
- Moreno-Hernández C.L., Zambrano-Zaragoza M.L., Velázquez-Estrada R.M., Sánchez-Burgos J.A. and Gutiérrez-Martínez P. (2022). Identification of a *Colletotrichum* species from mango fruit and its *in vitro* control by GRAS compounds. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 21(3): Bio2777, doi: 10.24275/rmiq/Bio2777.
- Nassar A.M.K. and Adss I.A.A. (2016). 2,4-Dichlorophenoxy acetic acid, abscisic acid, and hydrogen peroxide induced resistance-related components against potato early blight (*Alternaria solani*, Sorauer). *Annals of Agricultural Science*. 61(1): 15-23.
- Pakdeevaporn P., Wasee S., Taylor P.W.J. and Mongkolporn O. (2005). Inheritance of resistance to anthracnose caused by *Colletotrichum capsici* in *Capsicum*. *Plant Breeding*. 124(2): 206-208.
- Pring R.J., Nash C., Zakaria M. and Bailey J.A. (1995). Infection process and host range of *Colletotrichum capsici*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 46(2): 137-152.
- Saxena A., Raghuwanshi R., Gupta V.K. and Singh H.B. (2016). Chili anthracnose: The epidemiology and management. *Frontiers in Microbiology*. 7: 1527, doi: 10.3389/fmicb.2016.01527.
- Sutton B.C. (1992). The genus *Glomirella* and its anamorph *Colletotrichum*. In Bailey J.A. and Jeger M.J. Editors. *Colletotrichum: Biology, Pathology and Control*. CAB International, Wallingford. 1-26.
- Yeimmy P.R., Chiara R., Carlos D.G.T. and Clemencia C.L. (2023). Green management of postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of fungi*. 9: 623, doi: 10.3390/jof9060623.
- Zhou B., Luo Y., Nou X., Mwangi E., Poverenov E., Rodov V., Demokritou P. and Fonseca J.M. (2023). Effects of a novel combination of gallic acid, hydrogen peroxide and lactic acid on pathogen inactivation and shelf-life of baby spinach. *Food Control*. 143: 109284, doi: 10.1016/j.foodcont.2022.109284.

Received: July 8, 2023; Revised: October 19, 2023; Accepted: November 2, 2023

การจำลองสถานการณ์จัดเส้นทางรถขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชน
ตำบลกันตวระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์

The model of vehicle transportation and distribution of organic vegetables in
the community of Kantuadramaul Subdistrict, Prasat District, Surin Province

ศุภวิช นิยมพันธุ์^{1*}, ธาริณี มีเจริญ¹, ศิวพร แนนหนา¹, นิสานาถ แก้ววินัด¹

พงศ์ไกร วรรณตรง¹ และชลิตา แก้วบุตรดี¹

Supawit Niyomphant^{1*}, Tarinee Meecharoen¹, Siwaporn Nannar¹, Nisanath Kaewwinud¹

Pongkrai Wannatrong¹ and Chalita kaewbuddee¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

¹Faculty of Industrial Technology, Surin Rajabhat University, Surin Province

*Corresponding Author E-mail Address : supawit.big@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับจัดเส้นทางรถขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชน ตำบลกันตวระมวล จังหวัดสุรินทร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนที่มีระยะทางโดยรวมสั้นที่สุด โดยคณะผู้วิจัยประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง 2 วิธี ได้แก่ วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics: NNH) และวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ผลลัพธ์พบว่า การจัดเส้นทางรถขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics: NNH) สามารถจัดเส้นทางรถขนส่งได้ 10 เส้นทาง คิดเป็นระยะทางรวมทั้งสิ้น 9.88 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ ซึ่งแต่ละรอบการขนส่งจะมีปริมาณผักอินทรีย์ไม่เกิน 40 กิโลกรัม ตามเงื่อนไขการบรรทุกของยานพาหนะ และมีปริมาณการขนส่งทั้งสิ้น 355 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ และจากการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ผลลัพธ์พบว่า มีระยะทางการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนโดยรวมที่สั้นที่สุด 9.55 กิโลเมตร ลดลง 0.33 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.34 ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางการจัดเส้นทางรถขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชน จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลเชิงนโยบายสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการสนับสนุนการบริโภคผักอินทรีย์ในชุมชนได้

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางรถขนส่ง วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

Abstract

This research aimed to develop the model for the vehicle transportation and distribution of organic vegetables in the community of Kantuadramaul Subdistrict, Prasat District, Surin Province as a guideline for transporting and distributing the organic vegetables in the community with the shortest total distance. Researchers applied two methods for this vehicle routing problem, the nearest neighbor heuristics (NNH)

and the travelling salesman problem (TSP). The results showed the vehicle transportation and distribution of organic vegetables in the community by the nearest neighbor heuristics (NNH) can be arranged 10 routes for transporting. The total distance of transportation and distribution was 9.88 kilometers per week which each transport round will have the organic vegetables volume of not more than 40 Kilogram with the load restriction on transport vehicle and the total volume of vegetables was 355 kilograms per week. After improve the answer by the travelling salesman problem (TSP), the results showed the shortest total distance of transportation and distribution was 9.55 kilometers reduced 0.3 kilometers, it's as 3.34%. This research's results could be uses as a model for transporting and distributing organic vegetables in the community and be used as policy information for relevant organizations to support the consumption of organic vegetable in the community.

Keywords: Vehicle routing, Nearest neighbor heuristics, Travelling salesman problem

บทนำ

เกษตรอินทรีย์เป็นระบบการผลิตที่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืนของสุขภาพดิน ระบบนิเวศและผู้คน เกษตรอินทรีย์พึ่งพาอาศัยกระบวนการทางนิเวศวิทยา ความหลากหลายทางชีวภาพ และวงจรธรรมชาติ ที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละพื้นที่เกษตรอินทรีย์ผสมผสานองค์ความรู้พื้นบ้าน นวัตกรรม ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและส่งเสริมความสัมพันธ์ที่เป็นธรรม คุณภาพชีวิตที่ดีของทุกคนและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องความสำคัญของเกษตรอินทรีย์ คือ การเกษตรที่หลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยเคมีสังเคราะห์ สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ฮอร์โมนที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตดัดแปลงทางพันธุกรรม เกษตรอินทรีย์ให้ความสำคัญสูงสุดในการปรับปรุงบำรุงดิน โดยเชื่อว่า หากดินมีความอุดมสมบูรณ์ย่อมทำให้พืชและสัตว์ที่เจริญเติบโตจากผืนดินนั้นมีความอุดมสมบูรณ์ตามไปด้วย มนุษย์ที่บริโภคผลผลิตจากไร่สวนอินทรีย์ก็จะได้รับอาหารที่มีคุณภาพดีและอินทรีย์ (มูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน, 2559) สถานการณ์การตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผักและผลไม้สดในปัจจุบันยังเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่เข้าใจและไม่สามารถเข้าถึงผักและผลไม้สดที่มีคุณภาพและมีความอินทรีย์ได้ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561) ผู้บริโภคในปัจจุบันใส่ใจกับสุขภาพและให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (ลออรัตน์ และคณะ, 2562) ทำให้สินค้าเกษตรอินทรีย์หรือผลิตภัณฑ์ปลอดสารเคมีได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นประกอบกับภาครัฐให้การสนับสนุนการบริโภคผักอินทรีย์ (กิตติวดี และคณะ, 2563) ในปี พ.ศ. 2564 ตำบลกันตวจระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ ได้รับคัดเลือกให้เข้าร่วมโครงการศาสตร์พระราชาด้านแบบสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนเพื่อแก้ปัญหาความยากจนในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ภายใต้โครงการยกระดับเศรษฐกิจและสังคมรายตำบลแบบบูรณาการ (1 ตำบล 1 มหาวิทยาลัย: U2T) มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยมีกิจกรรมหลักคือการส่งเสริมการปลูกผักอินทรีย์เพื่อสร้างอาชีพและแก้ไขความยากจน ประชาชนได้รับความรู้ในการปรุงดิน ทำน้ำหมักชีวภาพ ตลอดจนปลูกผักอินทรีย์ประเภทผักสวนครัว เช่น ผักบุ้ง คะน้า แตงกวา พริก มะเขือ ฟักทอง เป็นต้น เพื่อบริโภคและจำหน่ายในท้องถิ่น แปลงผักอินทรีย์ตำบลกันตวจระมวลตั้งอยู่ในพื้นที่การดูแลของเทศบาลกันตวจระมวล จึงมีระยะทางไม่ไกลจากชุมชนมากนัก ผู้บริโภคผักอินทรีย์ในชุมชนจึงสามารถเดินทางมาเพื่อซื้อผักอินทรีย์ที่แปลงปลูกได้ แต่อย่างไรก็ตามตำบลกันตวจระมวลประกอบไปด้วย 8 หมู่บ้าน ซึ่งมีบางหมู่บ้านที่ตั้งอยู่ไกลออกไปจากแปลงผัก จึงส่งผลให้การเดินทางหรือการรู้ข่าวสารจากแปลงผักเป็นไปได้ยาก จากการสนับสนุนการบริโภคผักอินทรีย์ของทางภาครัฐและผู้นำชุมชนเพื่อสุขภาพที่ดีของประชาชนในชุมชน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการสร้างตัวแบบสำหรับจัดเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนตำบลกันตวจระมวล จังหวัดสุรินทร์ และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนที่มีระยะทางโดยรวมทั้งสิ้นที่สุด โดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดเส้นทางและประชาชนสามารถเข้าถึงการบริโภคผักอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง อีกทั้งยังใช้เป็นแนวทางในการสนับสนุนการบริโภคผักอินทรีย์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้อีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับประเภทและปริมาณผักอินทรีย์ที่กลุ่ม U2T กันตวจระมวล สามารถส่งจำหน่ายได้ ปริมาณความต้องการผักอินทรีย์ของลูกค้าในชุมชน ตลอดจนหาตำแหน่งของลูกค้าในชุมชน เป็นต้น ซึ่งกลุ่ม U2T กันตวจระมวล สามารถผลิตผักอินทรีย์จำหน่ายภายในชุมชนและชุมชนข้างเคียงตลอดทั้งปี แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แปลงปลูกผักอินทรีย์ตำบลกันตวจระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์

2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการขนส่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) คือ ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดในการเคลื่อนย้ายวัตถุโดยการหาวิธีการวางแผนจัดลำดับและเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในบริการ (ณกร, 2548) ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะเป็นปัญหาที่มีการศึกษาวิจัยกันมาอย่างแพร่หลาย โดยมีการกำหนดเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้ปัญหามีความหลากหลายมากขึ้นตามไปด้วย ถึงอย่างไรก็ตามแม้จะมีการศึกษากันมาเป็นระยะเวลายาวนานก็ตามแต่ยังไม่พบว่ามีวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ (Lin et al., 2012) ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนในทางปฏิบัติโดย Zanakakis และ Evans. (1981) ได้แนะนำให้ใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ (Heuristics) แทนวิธีการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพื่อหาคำตอบให้ได้ในเวลาที่เหมาะสม เป้าหมายสำคัญของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะคือการพยายามออกแบบกลุ่มของยานพาหนะทุกคันให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะวิ่งไปตามเส้นทางที่จะส่งสินค้าโดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่าง ๆ ด้วย เช่น เวลา จำนวนยานพาหนะ ระยะทาง เป็นต้น ซึ่งในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ถือว่าเป็นปัญหาประเภท (Non-deterministic Polynomial Time Hard : NP-Hard) (Goodrich and Tamassia, 2014) การใช้วิธีการแม่นยำตรง (Exact method) ในการหาคำตอบจะมีประสิทธิภาพในกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก แต่ในความเป็นจริงปัญหามักมีขนาดใหญ่จึงนิยมใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์และเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) มาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติมากกว่า

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดเส้นทาง ซึ่งวิธีการทางฮิวริสติกส์นี้เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้แก้ปัญหาเส้นทางในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมและให้คำตอบที่รวดเร็ว โดยคำตอบที่ได้ต้องเป็นคำตอบที่ดีเพียงพอและสามารถยอมรับได้ รูปแบบการแก้ปัญหาและการค้นหาคำตอบเป็นวิธีการคิดโดยใช้สามัญสำนึกของมนุษย์เข้าช่วยในการแก้ไขปัญหาย่างง่ายและมีความสมเหตุสมผล โดยผู้วิจัยได้แก้ปัญหาการขนส่งที่เกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่มเส้นทางสำหรับกลุ่มของยานพาหนะซึ่งเดินทางออกจากจุดเริ่มต้น 1 แห่งหรือมากกว่า เพื่อเดินทางไปยังจุดหมายปลายทางที่มีตำแหน่งสถานที่แตกต่างกันไป ได้แก่

2.1 วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics: NNH) เป็นวิธีที่เริ่มจากการหาตำแหน่งปลายทางที่อยู่ใกล้จุดเริ่มต้นมากที่สุด และเรียงลำดับต่อไปตามระยะทางหรือเวลาที่ใกล้ที่สุดไปจนครบทุกตำแหน่งปลายทาง (Liu et al., 2013) แสดงดังรูปที่ 2 แล้วนำมาแบ่งกลุ่มสำหรับรถขนส่งแต่ละคันตามเงื่อนไขที่กำหนด



รูปที่ 2 การหาตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดด้วยวิธี Nearest Neighbor Heuristics (เกศินี, 2563)

2.2 วิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ตัวแบบปัญหา TSP นิยมใช้ในการตัดสินใจหาเส้นทางการเดินทางเมื่อมีจุดหรือสถานที่ที่ต้องเดินทางไป k จุด โดยการเดินทางจะเริ่มจากสถานที่ใดสถานที่หนึ่งและเส้นทางการเดินทางต้องผ่านทุกสถานที่ k จุดเพียงสถานที่ละ 1 ครั้ง และท้ายที่สุดจะกลับมายังสถานที่เดิมที่เริ่มต้นเหมือนการเดินทางรอบ (Calvo, 2005) หากลากเส้นเชื่อมระหว่างลูกค้าแต่ละคนหรือเมืองแต่ละเมืองจะได้กราฟบริบูรณ์แบบไม่มีทิศทาง (Complete undirected graph) โดยระยะทางและค่าใช้จ่ายในการเดินทางแต่ละเส้น (Weight) จะมีค่าไม่ติดลบ (Cormen, 2013) ซึ่งในเงื่อนไขบังคับแต่ละข้อจะเป็นตัวแสดงข้อจำกัดของปัญหานี้ (ศิริดา และคณะ, 2563) เสนอการจัดเส้นทางเดินทางเพื่อการขนส่งสินค้าอาหารทะเลแปรรูปที่มีระยะทางการขนส่งที่สั้นที่สุด โดยวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งด้วยอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving algorithm) และวิธีการวางแผนเส้นทางโดยใช้รูปแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย TSP การจัดเส้นทางทั้งสองวิธีอยู่ภายใต้เงื่อนไขน้ำหนักบรรทุกไม่เกินความสามารถสูงสุด ส่งผลให้ระยะทางลดลง 41.3 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 17.26 และสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ 203.44 บาทต่อเที่ยว ในงานวิจัยนี้สามารถแสดงตัวแบบ TSP ได้ดังนี้

ดัชนี

i, j ตำแหน่งลูกค้าที่ i หรือ j ($i, j = 1 \dots k$)

พารามิเตอร์

C_{ij} ระยะทางในการเดินทางจากตำแหน่งลูกค้าที่ i ไปยังตำแหน่งลูกค้าที่ j

k จำนวนลูกค้า

U จำนวนลูกค้าที่อยู่ในเส้นทาง

V จำนวนลูกค้าทั้งหมด

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij} = 1 เมื่อมีการเดินทางจากตำแหน่งลูกค้าที่ i ไปจุด j
0 เมื่อไม่มีการเดินทางจากตำแหน่งลูกค้าที่ i ไปจุด j

สมการเป้าหมาย

$$\text{Minimize } \sum_{i \neq j} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^k X_{ij} = 1, \forall_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^k X_{ij} = 1, \forall_j \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in U} X_{ij} \leq |U| - 1, U \subset V, 2 \leq |U| \leq k - 2 \quad (4)$$

สมการเป้าหมาย (1) ระยะทางในการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์โดยรวมที่น้อยที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านปริมาณการบรรทุกของยานพาหนะเท่ากับ 40 กิโลกรัมต่อ 1 เส้นทาง ข้อจำกัดที่ (2) กำหนดให้การเดินทางออกจากตำแหน่งลูกค้า i ใด ๆ ต้องมีค่าเท่ากับ 1 (ณ ตำแหน่งลูกค้า i ใด ๆ สามารถเดินทางออกได้เพียงครั้งเดียว) ข้อจำกัดที่ (3) กำหนดให้การเดินทางเข้าตำแหน่งลูกค้า i ใด ๆ ต้องมีค่าเท่ากับ 1 (ณ ตำแหน่งลูกค้า i ใด ๆ สามารถเดินทางเข้าได้เพียงครั้งเดียว) ข้อจำกัดที่ (4) เป็นการรับประกันว่าต้องไม่มีการเกิดการเดินทางย่อย (Subtour) ขึ้น ซึ่งหมายความว่าในการเดินทางเริ่มต้นจากจุดใดจุดหนึ่งต้องเดินทางผ่านให้ครบทุกจุดที่เหลือและต้องไม่มีการแตกสายของวงรอบใหม่ของการเดินทางเส้นทางย่อยอื่น ๆ ขึ้น

2.3 จัดเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในตำบลกันตวจระมวล จังหวัดสุรินทร์ที่มีระยะทางสั้นที่สุดด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (NNH)

2.4 ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP)

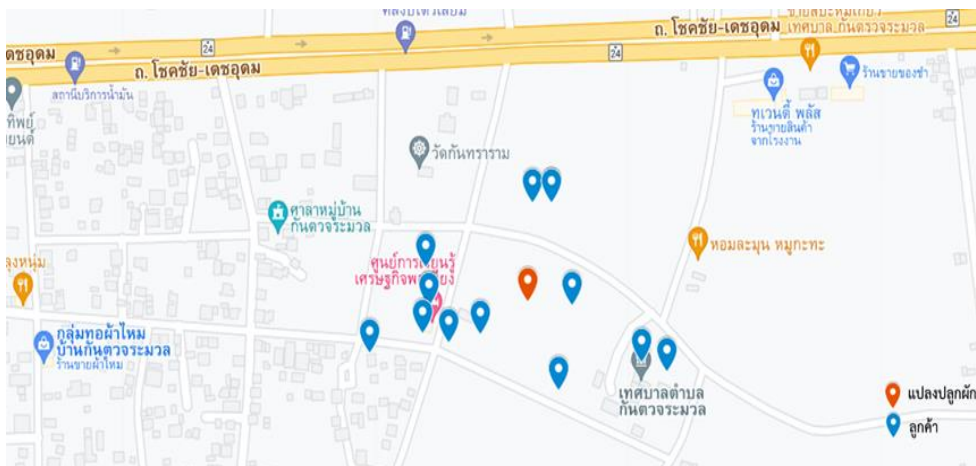
2.5 ผลการวิจัย

2.6 การอภิปรายผล

2.7 สรุป

ผลการวิจัย

1.สถานการณ์การบริโภคผักอินทรีย์ในชุมชน ตำบลกันตวจระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ แปลงปลูกผักอินทรีย์ ตำบลกันตวจระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ ตั้งอยู่บนพื้นที่ของเทศบาลกันตวจระมวล พิกัด (X,Y) บน Google maps ที่ (14.361071, 103.333589) ใช้พื้นที่ประมาณ 2 ไร่ มีการปลูกผักอินทรีย์ในประเภทผักสวนครัวเป็นหลัก เช่น พริก ผักบุ้ง ผักสลัด แตงกวา และถั่วฝักยาว เป็นต้น ซึ่งสามารถผลิตผักอินทรีย์จำหน่ายภายในชุมชนและชุมชนข้างเคียงตลอดทั้งปี ทั้งนี้ผู้บริโภคผักอินทรีย์หรือลูกค้าในชุมชน จะต้องเดินทางมายังแปลงปลูกเพื่อซื้อผักอินทรีย์โดยเฉลี่ยสองวันต่อครั้ง ลูกค้าส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในตำบลกันตวจระมวล ตำแหน่งของลูกค้า แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งบางส่วนอาศัยอยู่ไกลจากแปลงผักอินทรีย์มาก ทำให้การบริโภคผักอินทรีย์น้อยลงและตำแหน่งพิกัดบ้านของลูกค้าและปริมาณความต้องการผักในแต่ละวัน แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 ตำแหน่งแปลงปลูกผักอินทรีย์และตัวอย่างตำแหน่งลูกค้า

ตารางที่ 1 ตำแหน่งพิกัดบ้านของลูกค้าและปริมาณความต้องการผักในแต่ละวัน

ลูกค้า	พิกัดบ้าน (X,Y)	ปริมาณความต้องการผัก (กก./วัน)	ลูกค้า	พิกัด (X,Y)	ปริมาณความต้องการผัก (กก./วัน)
1	(14.361676, 103.332130)	4	27	(14.361543, 103.332414)	11
2	(14.363829, 103.334550)	3	28	(14.362236, 103.333959)	12
3	(14.360773, 103.333036)	14	29	(14.362380, 103.334083)	11
4	(14.361465, 103.332309)	13	30	(14.361987, 103.332140)	3
5	(14.361223, 103.332938)	6	31	(14.361113, 103.333512)	11
6	(14.362176, 103.333076)	3	32	(14.362392, 103.332356)	8
7	(14.361723, 103.332015)	2	33	(14.362242, 103.333205)	11
8	(14.362599, 103.333611)	11	34	(14.361926, 103.332744)	1
9	(14.361380, 103.332168)	12	35	(14.361068, 103.333309)	2
10	(14.361860, 103.333158)	1	36	(14.361120, 103.332140)	12
11	(14.332626, 103.332767)	3	37	(14.361163, 103.332499)	6
12	(14.361541, 103.333187)	8	38	(14.361858, 103.333339)	10
13	(14.362359, 103.333240)	3	39	(14.360892, 103.332960)	11
14	(14.362460, 103.333941)	7	40	(14.361362, 103.333201)	11
15	(14.362445, 103.332173)	4	41	(14.361588, 103.332208)	12
16	(14.361182, 103.332173)	13	42	(14.362513, 103.332927)	12
17	(14.362000, 103.333893)	8	43	(14.360935, 103.332961)	8
18	(14.362384, 103.332551)	3	44	(14.362599, 103.332836)	1
19	(14.361382, 103.332662)	4	45	(14.362088, 103.331926)	7
20	(14.362055, 103.333405)	5	46	(14.361355, 103.333744)	12
21	(14.360698, 103.333363)	8	47	(14.361118, 103.332704)	8
22	(14.362723, 103.334184)	7	48	(14.361333, 103.332903)	4
23	(14.360771, 103.333625)	3	49	(14.361119, 103.332227)	6
24	(14.161195, 103.333031)	7	50	(14.362465, 103.333200)	4
25	(14.362426, 103.333986)	1	51	(14.361241, 103.226500)	4
26	(14.362181, 103.333192)	9	52	(14.362654, 103.334447)	5

2. จัดเส้นทางการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในตำบลกันตวจระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ที่มีระยะทางสั้นที่สุด ด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (NNH)

สร้างตารางเมทริกซ์ระยะทางระหว่างแปลงปลูกผักอินทรีย์ (ตำแหน่งที่ 0) และตำแหน่งของลูกค้าในชุมชน (ตำแหน่งที่ 1-52) ตำบลกันตวจระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ แสดงตัวอย่างตารางเมทริกซ์ดังรูปที่ 4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	52
0	0	0.17	0.32	0.07	0.14	0.07	0.13	0.18	0.17	0.16	0.10	3.16	0.07	...	0.11
1	0.17	0	0.35	0.14	0.03	0.10	0.12	0.01	0.19	0.03	0.11	3.23	0.11	...	0.14
2	0.32	0.35	0	0.38	0.36	0.34	0.24	0.36	0.17	0.37	0.27	3.47	0.29	...	0.23
3	0.07	0.14	0.38	0	0.11	0.05	0.16	0.15	0.21	0.12	0.12	3.13	0.09	...	0.15
4	0.14	0.03	0.36	0.11	0	0.07	0.11	0.04	0.19	0.02	0.10	3.21	0.09	...	0.14
5	0.07	0.10	0.34	0.05	0.07	0	0.11	0.11	0.17	0.08	0.07	3.18	0.04	...	0.11
6	0.13	0.12	0.24	0.16	0.11	0.11	0	0.12	0.07	0.13	0.04	3.29	0.07	...	0.04
7	0.18	0.01	0.36	0.15	0.04	0.11	0.12	0	0.20	0.04	0.12	3.24	0.13	...	0.15
8	0.17	0.19	0.17	0.21	0.19	0.17	0.07	0.20	0	0.21	0.10	3.33	0.13	...	0.06
9	0.16	0.03	0.37	0.12	0.02	0.08	0.13	0.04	0.21	0	0.12	3.20	0.11	...	0.15
10	0.10	0.11	0.27	0.12	0.10	0.07	0.04	0.12	0.10	0.12	0	3.20	0.11	...	0.15
11	3.16	3.23	3.47	3.13	3.21	3.18	3.29	3.24	3.33	3.20	3.20	0	3.22	...	3.27
12	0.07	0.11	0.29	0.09	0.09	0.04	0.07	0.13	0.13	0.11	0.11	3.22	0	...	0.06
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0	...
52	0.11	0.14	0.23	0.15	0.14	0.11	0.04	0.15	0.06	0.15	0.15	3.27	0.06	...	0

รูปที่ 4 ตัวอย่างตารางเมทริกซ์ระยะทางระหว่างแปลงปลูกผักอินทรีย์ (ตำแหน่งที่ 0) และตำแหน่งของลูกค้า (ตำแหน่งที่ 1-52)

และทำการจัดเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในตำบลกันตวงระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ ที่มีระยะทางสั้นที่สุดด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด พบว่า มีเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ทั้งสิ้น 10 เส้นทาง ซึ่งแต่ละรอบการขนส่งจะมีปริมาณผักอินทรีย์ไม่เกิน 40 กิโลกรัม ตามเงื่อนไขการบรรทุกของยานพาหนะ คิดเป็นระยะทางรวมทั้งสิ้น 9.88 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ และจำหน่ายผักอินทรีย์โดยเฉลี่ยทั้งสิ้น 355 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจัดเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์

ที่	เส้นทาง	ปริมาณผักอินทรีย์ (กิโลกรัม/สัปดาห์)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	0-31-35-40-12-5-0	38	0.19
2	0-23-21-43-3-0	33	0.20
3	0-46-17-28-14-0	39	0.32
4	0-39-47-37-19-27-0	40	0.33
5	0-48-4-41-1-7-30-0	38	0.33
6	0-38-20-26-8-25-0	36	0.35
7	0-10-16-36-51-24-11-49-0	36	6.55
8	0-6-33-13-50-42-44-18-0	37	0.43
9	0-34-32-15-45-9-0	32	0.51
10	0-29-22-52-2-0	26	0.67
	รวม	355	9.88

3. ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP)

นำเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในตารางที่ 2 เป็นคำตอบเริ่มต้น แล้วจึงปรับปรุงประสิทธิภาพของคำตอบด้วยวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย พบว่า มีคำตอบเกิดขึ้นสองรูปแบบคือ เส้นทางที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับการเดินทางและระยะทางเท่าเดิม ได้แก่ เส้นทางที่ 1, 2, 4, 6, 8, 9 และ 10 และเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับการเดินทางและระยะทางได้แก่เส้นทางที่ 3, 5 และ 7 ซึ่งมีระยะทางในการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ลดลง ส่งผลให้ระยะทางรวมในการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ลดลง 0.33 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.34 ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการปรับปรุงคำตอบเส้นทางการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ด้วยวิธี TSP

วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics: NNH)			วิธีการแก้ปัญหาค่าเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP)			การเปลี่ยนแปลง (ลด/เพิ่ม) (กิโลเมตร)
ที่	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ที่	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	
1	0-31-35-40-12-5-0	0.19	1	0-31-35-40-12-5-0	0.19	0
2	0-23-21-43-3-0	0.20	2	0-23-21-43-3-0	0.20	0
3	0-46-17-28-14-0	0.32	3*	0-14-28-17-46-0	0.30	ลดลง 0.02
4	0-39-47-37-19-27-0	0.33	4	0-39-47-37-19-27-0	0.33	0
5	0-48-4-41-1-7-30-0	0.33	5*	0-30-7-1-41-4-48-0	0.27	ลดลง 0.06
6	0-38-20-26-8-25-0	0.35	6	0-38-20-26-8-25-0	0.35	0
7	0-10-16-36-51-24-11-49-0	6.55	7*	0-51-24-11-36-49-16-10-0	6.30	ลดลง 0.25
8	0-6-33-13-50-42-44-18-0	0.43	8	0-6-33-13-50-42-44-18-0	0.43	0
9	0-34-32-15-45-9-0	0.51	9	0-34-32-15-45-9-0	0.51	0
10	0-29-22-52-2-0	0.67	10	0-29-22-52-2-0	0.67	0
รวม		9.88	รวม		9.55	0.33

การอภิปรายผล

การจัดเส้นทางการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชน ตำบลกันตวจระมวล จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งจำหน่ายหรือปลูกผักอินทรีย์ของตำบลกันตวจระมวล และลูกค้าหรือผู้บริโภคผักอินทรีย์ จำนวน 52 ราย ที่มีพฤติกรรมการบริโภคผักอินทรีย์จากแหล่งจำหน่ายเป็นประจำ โดยตำแหน่งของลูกค้าจะอยู่ในบริเวณตำบลกันตวจระมวล จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งมีระยะทางไม่ไกลจากแหล่งจำหน่ายมากนัก วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (NNH) ถูกนำมาใช้ในการจัดเส้นทางการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชน ตำบลกันตวจระมวล จังหวัดสุรินทร์ ด้วยหลักการที่เหมาะสมกับสถานการณ์และยานพาหนะในการขนส่งปัจจุบันพบว่ามียังมี 10 เส้นทาง และเพื่อให้มีระยะทางในการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ที่ดีขึ้น นั่นคือมีระยะทางโดยรวมที่น้อยลง วิธีการแก้ปัญหาค่าเดินทางของพนักงานขาย (TSP) จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคำตอบ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าสามารถลดระยะทางในการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชน ตำบลกันตวจระมวล จังหวัดสุรินทร์ เป็นระยะทาง 0.33 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.34 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กวีวรรณ (2558) ได้ใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ในบริษัท XSquare จำกัด ปรากฏว่าต้นทุนการขนส่งลดลง 16.30% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรขนส่งสินค้าได้ 23.85% นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำวิธีการแก้ปัญหาค่าเดินทางของพนักงานขาย (TSP) มาใช้เพื่อปรับปรุงคำตอบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นคร และคณะ (2558) ที่ได้จัดเส้นทางการขนส่งของโรงงานน้ำตาล จังหวัดเชียงราย และใช้วิธี TSP ในการปรับปรุงคำตอบทำให้เส้นทางการขนส่งลดลงร้อยละ 4.16 อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ศึกษาเพียงผู้บริโภคผักอินทรีย์บางส่วนของตำบลกันตวจระมวล และมีตำแหน่งครัวเรือนที่ใกล้กัน ส่งผลให้แต่ละเส้นทางมีระยะทางการขนส่งไม่มากนัก อีกทั้งยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีข้อจำกัดทางด้านสมรรถนะการขับขี่ในระยะไกลและปริมาณการบรรทุก หากมีการพิจารณาตำแหน่งผู้บริโภคให้ครอบคลุมทั่วทั้งตำบล จะต้องมีการพิจารณาประเภทและปริมาณการบรรทุกของยานพาหนะในรูปแบบอื่น เพื่อให้มีแนวทางในการส่งเสริมการบริโภคผักอินทรีย์ในตำบลกันตวจระมวล จังหวัดสุรินทร์ อย่างทั่วถึง งานวิจัยนี้สามารถต่อยอดให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริง เช่น การพิจารณาความถี่ในการจำหน่ายผักอินทรีย์ที่มากกว่าหนึ่งครั้งต่อสัปดาห์ หรือพิจารณาต้นทุนการบริหารจัดการขนส่งร่วมด้วยและประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์หรือเมตาฮิวริสติกส์ที่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม (Optimal) ที่สุด สำหรับในเชิงนโยบายงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการสนับสนุนการปลูกและบริโภคผักอินทรีย์เพื่อสุขภาพที่ดีของประชาชนในชุมชนเกษตรกรรมที่เกี่ยวข้องได้

บทสรุป

ในการจัดเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนด้วยการ คณะผู้วิจัยใช้วิธีฮิวริสติกส์ 2 วิธีในการแก้ปัญหา โดยการหาคำตอบเริ่มต้นของการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics: NNH) สามารถจัดเส้นทางขนส่งได้ 10 เส้นทาง คิดเป็นระยะทางรวมทั้งสิ้น 9.88 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ ซึ่งแต่ละรอบการขนส่งจะมีปริมาณผักอินทรีย์ไม่เกิน 40 กิโลกรัมตามเงื่อนไขการบรรทุกของยานพาหนะ และมีปริมาณการขนส่งทั้งสิ้น 355 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ และจากการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem : TSP) ผลลัพธ์พบว่า มีระยะทางการขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนโดยรวมที่สั้นที่สุด 9.55 กิโลเมตร ลดลง 0.33 กิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 3.34) ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางการจัดเส้นทางขนส่งและกระจายผักอินทรีย์ในชุมชนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเทศบาลกันทรวิชัย กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน และประชาชนตำบลกันทรวิชัย อำเภอบางบาล จังหวัดสุรินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กวีวีรธรรม วิวัฒน์กิจไพศาล. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ กรณีศึกษา บริษัท XSquare จำกัด. การศึกษาค้นคว้าอิสระ กลุ่มวิชาการจัดการโลจิสติกส์ กลุ่มวิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- กิตติวดี สีดา, ใจสะคราญ จารึกสมาน และสัญญาสรปพร ยมสีดา. (2563). แนวทางการส่งเสริมการทำเกษตรอินทรีย์เพื่อสร้างสุขภาวะชุมชนในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลนาจัว อำเภอมือง จังหวัดเพชรบูรณ์. วารสารราชภัฏเพชรบูรณ์สาร. 22(1): 55-61.
- เกศินี สอนิ. (2563). การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าโดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้วิธีเซฟวิงอัลกอริทึมและวิธีการเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด อัลกอริทึม. วารสารเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ. 12(2): 1-14.
- ณกร อินทร์พุง. (2548). การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมขนส่งและโลจิสติกส์. สำนักพิมพ์ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ.
- นคร ไชยวงศ์ศักดิ์, ประเวศ อนันต์, นิเวศ จินะบุญเรือง, เสกสรร วินยางค์กุล, ขวัญเรือน สันณรงค์, ธนากร จักรแก้ว, วุฒิชัย ใจบาล และณัฐวุฒิ ศรีสว่าง. (2558). การจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้เซฟวิงอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาล. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน 3(1): 51-61.
- มูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน. (2559). เกษตรอินทรีย์. ค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2566. <http://www.sathai.org/autopagev4>.
- ลออรัตน์ จิตต์พงษ์, เบญญาภา กาลเข้ และประทีป กาลเข้. (2562). พฤติกรรมการบริโภคผักให้อินทรีย์จากสารพิษของประชาชนบ้านแสนสำราญ ตำบลสามขา อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารสภาการสาธารณสุขชุมชน. 1(1): 53-60.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2561). ค้นเมื่อ 22 พฤษภาคม 2566. <https://www.thaihealth.or.th/>.
- ศิริดา หัสันนท์, สุริยันต์ จอมธนะชัย, ธัญดา แสงวิไล และวชิราภรณ์ จันทร์โพธิ์กุล. (2563). การจัดเส้นทางเดินทาง: กรณีศึกษาบริษัทแปรรูปอาหารทะเล. ใน การประชุมวิชาการระดับนานาชาติและระดับชาติด้านบริหารธุรกิจและการบัญชี. 20-21 กุมภาพันธ์ 2563. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 139-143.
- Calvo R.W. (2005). A new heuristic for traveling salesman problem with time windows. Transportation Science. (1): 113-124.
- Cormen T.H. (2013). Algorithms unlocked. MIT Press: MA.
- Goodrich M.T. and Tamassia R. (2014). Algorithm design and applications. 1st Edition. Wiley Publishing: Hoboken.

- Lin Y., Li W., Qiu F. and Xu H. (2012). Research on optimization of vehicle routing problem for ride-sharing taxi. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 43: 494–502.
- Liu R., Xie X., Augusto V. and Rodriguez C. (2013). Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. *European Journal of Operational Research*. 230(3): 475-486.
- Zanakis S.H. and Evans J.R. (1981). Heuristic optimization: why, when, and how to use it. *Interfaces*. 11(5): 84–91.

การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งพรุนบนแผ่นดูดซับความร้อน

Thermal performance enhancement of solar air heater with perforated curved- winglet roughness on absorber plate

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์¹ สืบสกุล กุรุรัตน์² และสมพล สกุลหลง^{2*}

Panuwat Hoonpong¹, Suabsakul Gururatana² and Sompol Skullong^{2*}

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี

¹ Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi Province

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

² Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi Province

*Corresponding Author E-mail Address : sompol@eng.src.ku.ac.th

บทคัดย่อ

การทำให้พื้นผิวขรุขระบนแผ่นดูดซับความร้อนสามารถเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการทำพื้นผิวขรุขระด้วยการติดตั้งปีกโค้งพรุนและแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ จุดมุ่งหมายของการติดตั้งปีกโค้งพรุนเพื่อสร้างการไหลหมุนวนตามแนวยาวซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มระดับความปั่นป่วนของการไหลและนำไปสู่การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อทดสอบ อากาศถูกใช้เป็นของไหลทดสอบโดยไหลผ่านท่อในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5,390 ถึง 23,000 พารามิเตอร์ทางเรขาคณิตที่ใช้ในการทดสอบมีอัตราส่วนความสูงต่ออัตราส่วนความกว้างของท่อของปีกพรุนสี่ค่า ($A_r/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$ และ 0.6) ที่มุมปะทะปีกคงที่ ($\alpha = 45^\circ$) ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งปีกโค้งพรุนมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบอยู่ในช่วง 2.55–3.22 เท่า ขณะที่ความเสียดทานสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 6.21–15.4 เท่า การติดตั้งปีกโค้งพรุนที่อัตราส่วนความพรุนต่ำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงกว่าการติดตั้งปีกโค้งพรุนที่อัตราส่วนความพรุนสูง การติดตั้งปีกโค้งพรุนที่อัตราส่วนความพรุน $A_r/A_w = 0.33$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 1.56

คำสำคัญ: ปีกโค้ง เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ แผ่นดูดซับความร้อน สมรรถนะเชิงความร้อน การไหลหมุนวน

Abstract

A roughness of the absorber plate can improve the thermal performance of a solar air heater. To boost the thermal performance of rectangular solar air heaters, this research presents the results of a comparison study between with and without perforated curved- winglet (PCW) roughness on absorber plates. The aim at using the PCW is to create longitudinal vortex flows having a significant influence on the flow turbulence intensity leading to higher heat transfer enhancement in the tested channel. Air as

the test fluid flowed through the test channel with Reynolds number (Re) from 5,290 to 23,000. The investigated geometrical parameters were at four porosity ratios ($A_h/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$ and 0.6) at a single attack angle ($\alpha = 45^\circ$). The experimental results have showed that the PCWs give the considerable increase in heat transfer rate over the smooth absorber plate around 2.55–3.22 times while the increase in friction loss is about 6.21–15.4 times. The PCW with smaller porosity ratio provides higher heat transfer and friction loss than the one with larger porosity ratio. The highest thermal performance around 1.56 using the PCW is seen at $A_h/A_w = 0.33$.

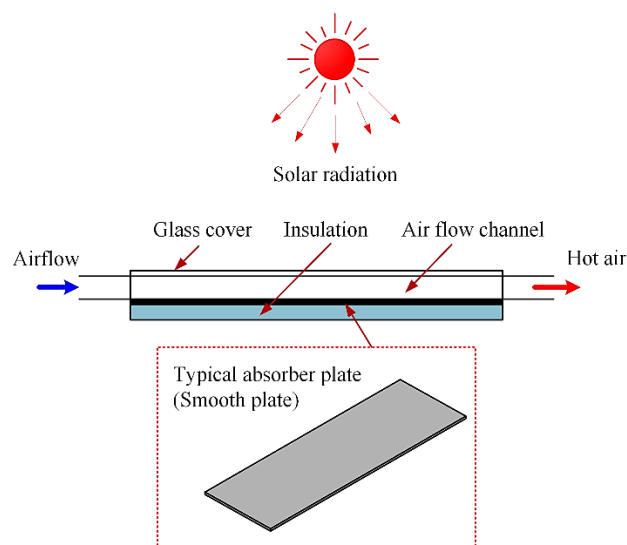
Keywords: Curved-winglet, Solar air heater, Absorber plate, Thermal performance, Vortex generator

บทนำ

ปัจจุบันสภาวะปัญหาโลกร้อนส่งผลกระทบต่อทุกพื้นที่ทั่วโลกอันส่งผลทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นโดยเฉพาะช่วงฤดูร้อนของทุกปีอันส่งผลทำให้เกิดการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องมาจากประชากรมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่สูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศและพัดลมในการคลายร้อนในช่วงอุณหภูมิที่สูงอันเกิดจากความร้อนเพิ่มขึ้นซึ่งนั่นจะส่งผลในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตาม ฉะนั้นแล้วหากจะพิจารณาในการลดใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นควรมีการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์สำหรับรองรับพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อแก้ปัญหาโลกร้อนอันเนื่องมาจากการใช้พลังงานที่สูงจากสิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและทดแทนพลังงานทำให้การใช้พลังงานนั้นลดน้อยลง ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่สะอาดปราศจากมลพิษและมีอยู่อย่างไม่มีจำกัดบนโลกการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกนำมาใช้ในสองรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าและการดึงความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การบ่มผลไม้ เป็นต้น สำหรับวิธีนี้มีระบบที่ไม่ซับซ้อนและต้นทุนในการผลิตต่ำ อุปกรณ์ที่ทำงานลักษณะนี้คือเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์จะใช้แสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนเสริมควบคู่ไปกับพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน แก๊สหุงต้มหรือพลังงานไฟฟ้า เพื่อทำให้เกิดการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมจะมีแผ่นดูดซับความร้อนเป็นผิวเรียบ (Smooth absorber plate) ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่สูงมากนัก นักวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งจะส่งผลทำให้สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์สูงขึ้นด้วย โดย ภาณุวัฒน์ และคณะ (2559) ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งแผ่นปีกพรุนที่มีอากาศเป็นสารทดสอบไหลผ่านเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ทำการทดสอบอิทธิพลของมุมปะทะปีก 4 ค่า คือ $\alpha = 20, 30, 45$ และ 60 องศา ที่ระยะพิตช์เพียงค่าเดียว ($P/D=3$) โชติวุฒิ และคณะ (2560) ทำการทดลองของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยมีเงื่อนไขการติดตั้งครีว้างเอียงแบบแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อนทำมุมปะทะ 45 องศา มีสัดส่วนความสูงปีกต่อความสูงท่อ (b/H) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร และมีสัดส่วนระยะพิตช์ตามแนวการไหลต่อความสูงท่อ (P/H) 5 ค่า คือ $1.0, 1.5, 2.0, 2.5$ และ 3.0 ตามลำดับ พิทักษ์ และคณะ (2561) ได้ทำการจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติที่มีการติดตั้งครีว้างเหลี่ยมคางหมูวางรูปตัววีบนแผ่นดูดซับความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบช่องขนาน โดยมีอัตราส่วนความสูงครีว้าง $HR=0.04, 0.06, 0.08$ และ 0.10 อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีว้าง $PR=0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 และอัตราส่วนความกว้างของฐานครีว้าง $WR=0.10, 0.15$ และ 0.20 ที่มุมปะทะการไหลของครีว้าง (α) 30 องศา Pandey et al. (2016) ศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดผิวโค้งแบบเว้นช่วงในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ($Re=2,100-21,000$) ผลการทดลองพบว่า การใช้แผ่นดูดซับความร้อนดังกล่าวมีค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนแบบธรรมดา (ท่อผิวเรียบ) ถึง 5.85 และ 4.96 เท่า Skullong et al. (2016) ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการต้านทานการไหลภายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดร่องผสมปีกพรุน การทดลองพบว่า แผ่นดูดซับความร้อนดังกล่าวให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการต้านทานการไหลสูงกว่าท่อผิวเรียบและมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดร่องเพียงอย่างเดียวในช่วง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การติดตั้งปีกจะช่วยในการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลศาสตร์ได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะทดลองด้วยการติดตั้งปีกโค้งพรุณบนแผ่นดูดซับความร้อนในการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่ เครื่องอุณหอากาศพลศาสตร์ การวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลของปีกโค้งพรุณที่มีค่าอัตราส่วนความพรุณ (A_v/A_w) เท่ากับ 0.2, 0.33, 0.47 และ 0.6 ตามลำดับ โดย (Hole area, A_h) คือพื้นที่รูเจาะปีก และ (Winglet area, A_w) คือพื้นที่ปีก โดยมีการจำลองใช้ แผ่นฮีตเตอร์เป็นพลังงานแสงอาทิตย์และให้ความร้อนแก่แผ่นดูดซับความร้อนในสภาวะพลักซ์ความร้อนคงที่ และทดสอบในช่วง การไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5,390 ถึง 23,000



ทฤษฎีการคำนวณของงานวิจัย

สมดุลความร้อนระหว่างความร้อนที่อากาศได้รับ (Q_{air}) และการพาความร้อน (Q_{conv})

$$Q_{\text{air}} = Q_{\text{conv}} \quad (1)$$

$$h = \dot{m} \times C_p \times (T_o - T_i) / A \times (\tilde{T}_s - T_b) \quad (2)$$

เมื่อ $T_b = (T_o + T_i)/2$ และ $\tilde{T}_s = \sum T_s/12$

เลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (Nu) หาได้จาก

$$Nu = (h \times D_h) / k \quad (3)$$

การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

$$Re = (U \times D_h) / \nu \quad (4)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \times \frac{\Delta P}{\rho \times U^2} \quad (5)$$

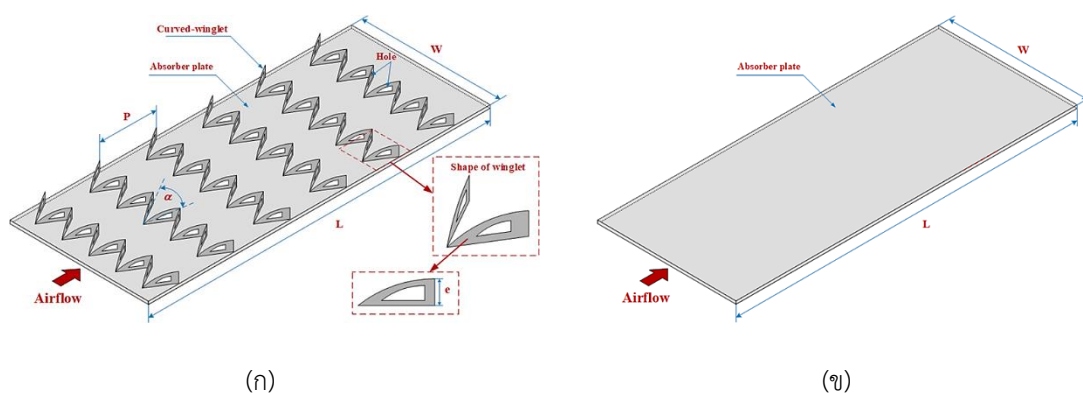
ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor: TEF) ของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์จากเอกสารอ้างอิง (Jayranaiwachira et al., 2022) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$TEF = \frac{h}{h_0} \bigg|_{PP} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{PP} = (Nu/Nu_0) / (f/f_0)^{\frac{0.755}{2.738}} \quad (6)$$

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

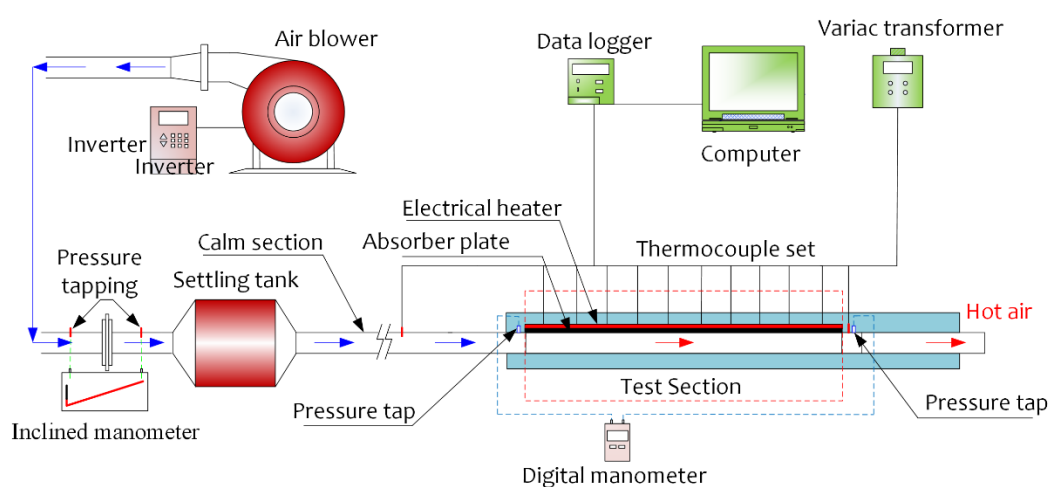
แผ่นดูดซับความร้อน (อะลูมิเนียม) ถูกนำมาใช้เป็นส่วนทดสอบของการจำลองเป็นเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีช่วงทดสอบยาว (L) 420 มิลลิเมตร กว้าง (W) 300 มิลลิเมตร และสูง (H) 30 มิลลิเมตร โดยติดตั้งปีกโค้งที่มุมปะทะ $\alpha = 45$ องศา บนแผ่นดูดซับความร้อนและอัตราส่วนความพรุน ($A_h/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$ และ 0.6) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) และแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบดังรูปที่ 2 (ข) ซึ่งให้ความร้อนด้วยแผ่นฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์ (จำลองเป็นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์) และมีการหุ้มฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก



รูปที่ 2 (ก) แผ่นดูดซับความร้อนที่มีการติดตั้งปีกโค้งพรุน (ข) แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

2. การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองกับเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

ชุดทดสอบเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 3 จากรูปประกอบไปด้วยพัดลมแรงดันสูงขนาด 2 กิโลวัตต์ โดยมีอินเวอร์เตอร์ในการควบคุมมอเตอร์ (ปรับอัตราการไหลของอากาศ) อยู่ในช่วงระหว่าง 5,390 ถึง 23,000 จากนั้นอากาศจะไหลผ่านแผ่นออริฟิส (Orifice plate) ที่มีส่วนทดสอบ Inclined manometer ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดค่าผลต่างของความดันโดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ ต่อมาอากาศไหลผ่าน Settling tank ที่ทำหน้าที่ปรับสภาพการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ช่องปรับสภาพการไหล (Calm section) เพื่อให้การไหลของอากาศให้มีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (Fully developed flow) ก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบที่มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิดที (T-Type) จำนวน 12 ตัว ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี (PT100) จำนวน 2 ตัว ใช้ในการวัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกส่วนทดสอบที่ส่งสัญญาณไปยัง Data Logger FLUKE รุ่น 2680A และประมวลผลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ ขณะที่ดิจิตอลมานอมิเตอร์ถูกนำมาใช้ในการวัดค่าความดันตกคร่อมของส่วนทดสอบมี ค่าความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์การวัดแสดงรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง (Promvong et al., 2022)



รูปที่ 3 ชุดทดสอบเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. การทดสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

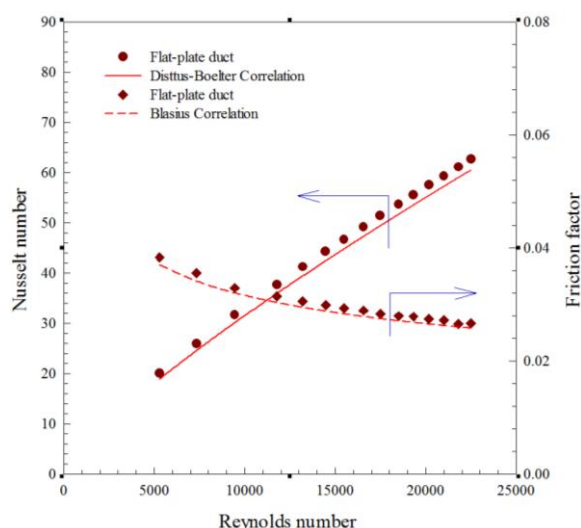
เพื่อความถูกต้องของชุดทดสอบรวมทั้งผลการทดลอง จึงทำการทดสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบก่อนติดตั้งปีกโค้งพูนบนแผ่นดูดซับความร้อน โดยนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter สำหรับถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number: Nu) และสหสัมพันธ์ของ Blasius สำหรับความเสียดทานซึ่งแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (Friction factor: f) จากเอกสารอ้างอิง (Incropera, 2012) โดยสหสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (7)$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius

$$f = 0.316Re^{-0.25} \quad (8)$$

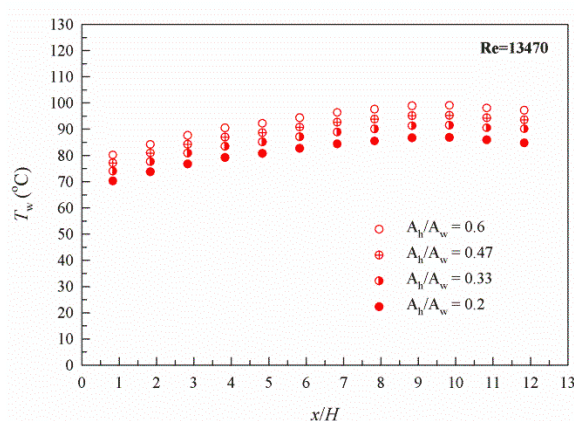


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ f กับ Re กรณีท่อผิวเรียบ

จากรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu และ f ระหว่างผลการทดลองกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และสหสัมพันธ์ของ Blasius ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบจากการทดลองกับสหสัมพันธ์ตามทฤษฎี พบว่า ค่า Nu มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 6% ขณะที่ f มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 7%

2. การกระจายอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวของแผ่นดูดซับความร้อน (T_w) กับระยะจุดวัดอุณหภูมิต่อความสูงท่อ (x/H) ของการติดตั้งแผ่นปีกพรุนที่อัตราส่วนความพรุนต่าง ๆ ($A_p/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$ และ 0.6) ที่เลขเรย์โนลด์ 13,470 จากการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อนเพิ่มขึ้นตามค่า x/H และมีแนวโน้มเป็นที่เชิงเส้นโดยจากนั้นจะลดลงเล็กน้อยที่บริเวณปลายท่อทดสอบหรือที่ทางออกของท่อ ($x/H \approx 11, 12$) ซึ่งเกิดจากผลกระทบเมื่ออากาศร้อนภายในท่อไหลไปปะทะกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่บริเวณภายนอก โดยแผ่นดูดซับความร้อนที่ติดตั้งปีกพรุน $A_p/A_w = 0.6$ มีค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดเนื่องจากสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่ากรณีแผ่นปีกพรุนที่ A_p/A_w อื่น ๆ

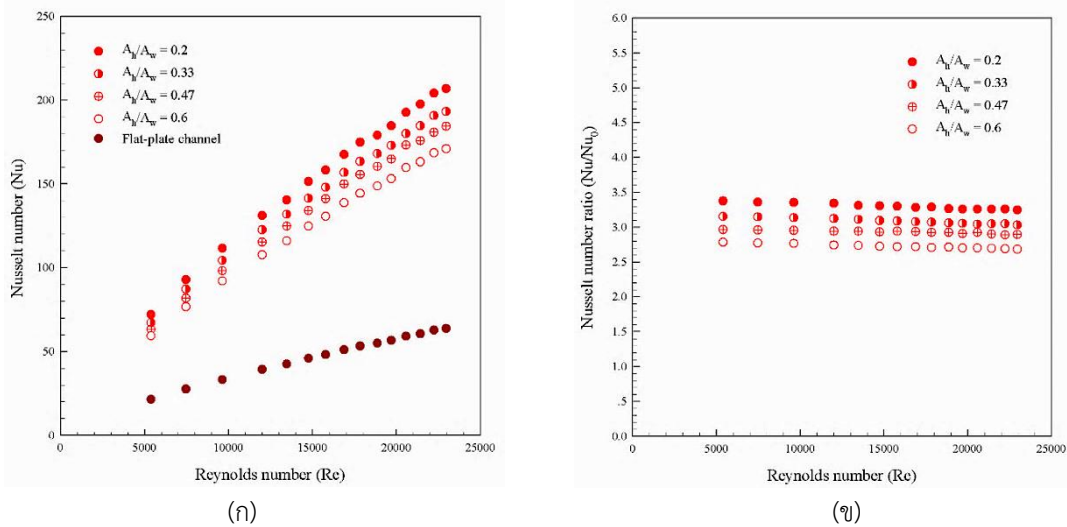


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน (T_w) กับระยะจุดวัดอุณหภูมิผิวต่อความสูงท่อ (x/H)

3. การถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nu) โดยจะแสดงความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ที่บ่งบอกถึงการไหลแบบปั่นป่วนในช่วงต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 6 (ก) จากการทดลองพบว่า ค่า Nu จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re ซึ่งการติดตั้งปีกโค้งพรุนที่อัตราส่วนความพรุน $A_p/A_w = 0.2$ บทแผ่นดูดซับความร้อนให้ค่า Nu สูงสุดตามด้วย $A_p/A_w = 0.33, 0.47$ และ 0.6 และท่อผิวเรียบตามลำดับ เนื่องมาจากการเจาะรูมีขนาดเล็ก ($A_p/A_w = 0.2$) จึงส่งผลให้เกิด

ระดับการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในใช้ระยะเวลาที่ยาวนานกว่ากรณีอื่นจึงส่งผลทำให้แผ่นดูดซับความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุณหภูมิผิวที่ติดตั้งปีกโค้งพรุณ ซึ่งสูงกว่ากรณีแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (ไม่มีการติดตั้งปีกโค้งพรุณ)



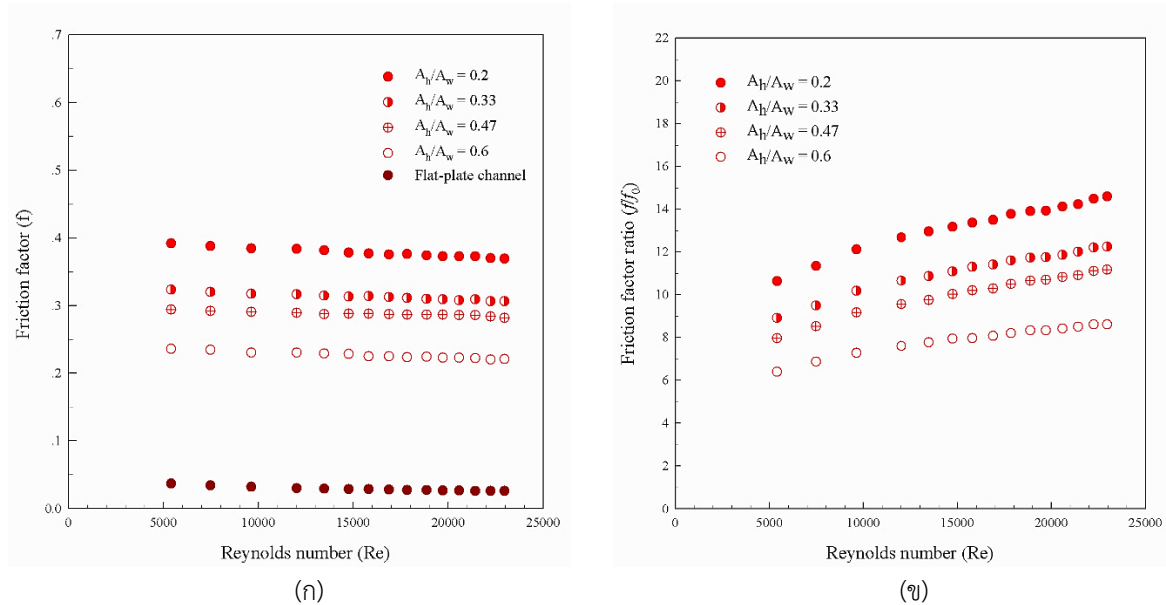
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) Nu และ (ข) Nu/Nu₀ กับ Re

จากรูปที่ 6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีติดตั้งปีกโค้งพรุณต่อเลขนัสเซลท์ของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (Nu/Nu₀) กับ Re จากการทดลองพบว่า การติดตั้งปีกโค้งพรุณจะช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนดีขึ้นกว่ากรณีแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบทุกกรณี โดยพบว่า กรณีอัตราส่วนความพรุณที่ $A_h/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$ และ 0.6 มีค่า Nu/Nu₀ เฉลี่ยเท่ากับ 3.4, 3.2, 3.0 และ 2.8 ตามลำดับ แสดงถึงการถ่ายเทความร้อนในทอมของเลขนัสเซลท์ที่เพิ่มขึ้น 2.8 ถึง 3.4 เท่า

4. ความเสียดทาน

รูปที่ 7 (ก) แสดงถึงความเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งปีกโค้งพรุณโดยแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวในทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ซึ่งพบว่า การติดตั้งปีกโค้งพรุณจะเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนควงภายในเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์และจะเพิ่มระดับการไหลทำให้เกิดความปั่นป่วนมากขึ้นภายในท่ออันก่อให้เกิดความเสียดทานที่สูงขึ้น โดยการติดตั้งปีกโค้งพรุณที่มีค่า f สูงสุดคือ $A_h/A_w = 0.2$ ตามด้วย $A_h/A_w = 0.33, 0.47$ และ 0.6 และแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบตามลำดับ

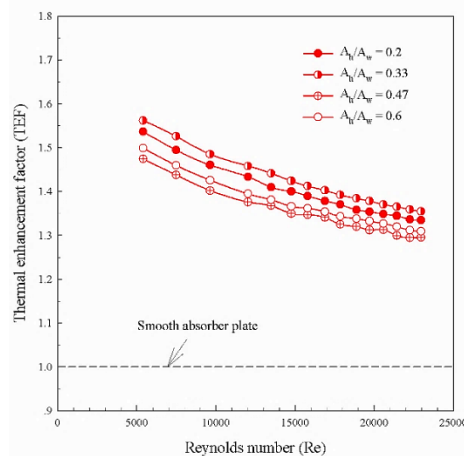
จากรูปที่ 7 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกรณีติดตั้งปีกโค้งต่อตัวประกอบเสียดทานของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (f/f_0) จากการทดลองพบว่า การติดตั้งปีกโค้งพรุณจะก่อให้เกิดความเสียดทานสูงขึ้น โดยที่อัตราส่วนความพรุณ $A_h/A_w = 0.2, 0.33, 0.47$ และ 0.6 มีค่า f/f_0 เฉลี่ยเท่ากับ 14.59, 12.25, 11.17 และ 8.61 ตามลำดับ แสดงถึงตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้น 8.61 ถึง 14.59 เท่า อย่างไรก็ตาม ตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงความคุ้มค่าในแง่ของสมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ต้องนำทั้งค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานมาพิจารณาร่วมกัน โดยจะแสดงในทอมของค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) f และ (ข) f/f_0 กับ Re

5. สมรรถนะทางความร้อน

จากสมการตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor: TEF) สมการที่ (6) เป็นสมการที่ใช้ในการประเมินผลสมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยแสดงดังรูปที่ 8 โดยรูปดังกล่าวจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับเลขเรย์โนลด์ Re ซึ่งพบว่า ค่า TEF มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของค่า Re เนื่องจากอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_0) ลดลงเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ (Re) ขณะที่ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมากตามการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ (Re) เมื่อนำมาคำนวณในสมการที่ (6) ค่า TEF จึงมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re โดยการลดลงของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_0) และการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเชื่อมโยงมาจากสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Blasius สมการที่ (7) และ (8) จากเอกสารอ้างอิง (Incropera, 2012) ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ของสมรรถนะเชิงความร้อน การติดตั้งปีกโค้งพูนภายในเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์จะส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ดีขึ้นและการติดตั้งปีกพูนที่อัตราส่วนความสูงของรูพูน $A_h/A_w = 0.33$ มีค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.56 ที่ $Re = 5,390$ โดยมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 36% เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตโดย โชติวุฒิ และคณะ (2560) ที่มีการติดตั้งปีกทึบ (ไม่มีการเจาะรู) บนแผ่นดูดซับความร้อนพบว่า งานวิจัยปัจจุบันให้ค่า TEF สูงกว่าประมาณ 7% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเจาะรูบนปีกโค้งสามารถช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานและส่งผลให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงขึ้นด้วย



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re

บทสรุป

จากการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งพูนบนแผ่นดูดซับความร้อนที่อิทธิพลของอัตราส่วนความพูน (A_h/A_w) ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ความเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการติดตั้งปีกโค้งพูนบนแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อสร้างการไหลภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีแต่ในขณะเดียวกันจะส่งผลต่อความเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบถึงการทำให้สมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ดีขึ้นจึงต้องวัดจากค่าสมรรถนะเชิงความร้อน และพบว่า มีค่าการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีกว่าในกรณีที่ไม่มีติดตั้งปีกโค้งพูน (แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ) ซึ่งการติดตั้งปีกโค้งพูนที่อัตราส่วนความพูน $A_h/A_w = 0.33$ ภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.56 โดยมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 36%

เอกสารอ้างอิง

- ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ และสมกล สกุลหลง. (2559). การศึกษาเชิงทดลองของลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อทรงกระบอกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นปีกพูน. วารสารเทพสตรี I-TECH. 11(1): 29-37.
- โชติวุฒิ ประสพสุข และสมพล สกุลหลง. (2560). การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานของท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้ครีบบางเอียงแบบแยกตัว. วารสารเทพสตรี I-TECH. 12(2): 179-188.
- โชติวุฒิ ประสพสุข, วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง, พงษ์เจต พรหมวงศ์, สุรชาติพิทย์ วิฑูรย์ยานนท์ และสมพล สกุลหลง. (2560). การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งบนแผ่นดูดซับความร้อน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. 4-7 กรกฎาคม 2560. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. นครนายก. 1-10 (ETM-13).
- พิทักษ์ พร้อมไธสง และพงษ์เจต พรหมวงศ์. (2561). พฤติกรรมความร้อนในช่องขนานเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีครีบลิ่มเหลี่ยมคางหมูวางรูปตัววีบนแผ่นดูดซับ. Engineering Transactions Journal. 21(1): 62-80.
- จิตกร กนกนัยการ และพงษ์เจต พรหมวงศ์. (2562). อิทธิพลของการจัดวางครีบลิ่มตัววีต่อการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33. 2-5 กรกฎาคม 2562. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม. 1-9 (HTE-008).
- Eiamsa-ard, S. and Promvonge, P. (2008). Numerical study on heat transfer of turbulent channel flow over periodic grooves. International Communications in Heat and Mass Transfer. 35: 844-852.
- Eiamsa-ard, S. and Promvonge, P. (2009). Thermal characteristics of turbulent rib-grooved channel flows. International Communications in Heat and Mass Transfer. 36: 705-711.
- Incropera F.P., Dewitt P.D., Bergman T.L. and Lavine A.S. (2012). Foundations of heat transfer, 6th edition., John-Wiley & Sons Inc.
- Jaurker A.R., Saini J.S. and Gandhi B.K. (2006). Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness. Solar Energy. 80: 895-907.
- Jayranaiwachira N., Promvonge P., Thianpong C. and Skullong S. (2022). Thermal-hydraulic performance of solar receiver duct with inclined punched-ribs and grooves. Case Studies in Thermal Engineering. 39: 102437.
- Pandey N.K., Bajpai V.K. and Varun. (2016). Experimental investigation of heat transfer augmentation using multiple arcs with gap on absorber plate of solar air heater. Solar Energy. 134(1): 314-326.
- Promvonge P., Promthaisong P. and Skullong S. (2022). Experimental and numerical thermal performance in solar receiver heat exchanger with trapezoidal louvered winglet and wavy groove. Solar Energy. 236: 153-174.

Skullong S., Promvong P., Thianpong C. and Pimsarn M. (2016). Thermal performance in solar air heater channel with combined wavy-groove and perforated-delta wing vortex generators. Applied Thermal Engineering. 100: 611–620.

Received: June 19, 2023; Revised: November 10, 2023; Accepted: November 16, 2023

คุณภาพน้ำและความหลากหลายของโพรโทซัวในแม่น้ำจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี Water quality and diversity of protozoa in the Chanthaburi River, Chanthaburi Province

วีระ ยินดี^{1*}, วิทวัส เวชกุล¹, นฤมล เวชกุล¹, ลิธิ กุลลาบทอง¹, ดุสิต ศรีวิไล¹ และวัชนะชัย จูมผา²
Weera Yindee^{1*}, Wittawat Wetchagool¹, Narumon Wetchagool¹, Sitthi Kulabtong¹,
Dusit Srivilai¹ and Watchanachai Joompha²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

¹Faculty of Agro-Industry Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chanthaburi Campus, Chanthaburi Province

²โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

²Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus, Chanthaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address: weera_yi@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำและความหลากหลายของโพรโทซัวในแม่น้ำจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี จำนวน 8 สถานี ได้แก่ บ้านจันทเขลม อ่างเก็บน้ำศาลทราย Bokies house วัดกะทิง ถนนสุขุมวิท วัดจันทาราม โรบินสัน และร้านปันจิม ในฤดูแล้ง (เมษายน 2560) และฤดูน้ำหลาก (ตุลาคม 2559) โดยเก็บตัวอย่างโพรโทซัวด้วยถุงลากลาก แพลงก์ตอน ขนาด 40 ไมครอนเมตร ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึง เมษายน พ.ศ. 2560 โดยศึกษาคุณภาพน้ำมีผลการศึกษาเป็นดังนี้ อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยคือ $26.4 \pm 0.88^{\circ}\text{C}$ ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ย 6.83 ± 0.92 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ยคือ 8.15 ± 3.44 มิลลิกรัมต่อลิตร พบ โพรโทซัวทั้งหมด 2 คลาส 6 สกุล 17 ชนิด ดัชนีความหลากหลาย Shannon-Weiner Index (H') ฤดูแล้งเท่ากับ 2.55 ส่วนฤดูน้ำน้อยเท่ากับ 2.73 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index) ทั้งสองฤดูในการพบโพรโทซัวไม่แตกต่างกัน โดยฤดูแล้งเท่ากับ 0.15 ส่วนฤดูน้ำน้อยเท่ากับ 0.16

คำสำคัญ: โพรโทซัว แม่น้ำจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

Abstract

The objectives of this research were to study water quality and find out varieties of protozoa species in Chanthaburi river at Chanthaburi Province. Eight stations (Ban Chanthaklem, San Sai Reservoir, Bokies house, Krating, Sukumvit road, Chantharam, Robinson Department Store and Panjim) of Chanthaburi River were investigated in dry (April 2017) and wet seasons (October 2016). Protozoa were collected by using 40 micron mesh plankton net during October 2016-April 2017. The water qualities of the study sites were water temperature $26.4 \pm 0.88^{\circ}\text{C}$, pH 6.83 ± 0.92 and dissolved oxygen 8.15 ± 3.44 mg/l. A total of 2 classes, 6 genera and 17 species of protozoa were recorded. The Shannon-Weiner Index (H') wet seasons is 2.55, dry

season is 2.73. and Evenness index for both seasons in protozoa is not different. The wet season is 0.15 and the dry season is 0.16.

Keywords: Protozoa, Chanthaburi River, Chanthaburi Province

บทนำ

ในระบบนิเวศแพลงก์ตอนสัตว์จัดเป็นผู้บริโภคอันดับแรก (Primary consumer) โดยจะกินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร จึงนับว่ามีความสำคัญในห่วงโซ่อาหาร โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคลำดับสูงขึ้นไป การเปลี่ยนแปลงของประชากรของแพลงก์ตอนสัตว์จากเดิมย่อมส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคลำดับสูงขึ้นไป โปรโตซัวเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กสามารถดำรงชีวิตได้แทบทุกสภาวะของระบบนิเวศโดยมีความชื้นเป็นปัจจัย โปรโตซัวดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จำนวนมากและมีสถานภาพอยู่ในระบบนิเวศ (Ecological niche) หลายสถานะตามลักษณะของโภชนาการ โปรโตซัวส่วนใหญ่อาศัยในน้ำพบทั้งในน้ำจืดน้ำเค็ม บางชนิดอาศัยในดินมีทั้งดำรงชีวิตอิสระกินแบคทีเรีย สาหร่าย และโปรโตซัว อื่น ๆ เป็นอาหารและพวกที่เป็นปรสิต การจำแนกโปรโตซัวออกเป็นไฟลัมหรือคลาสอาศัยรูปแบบของออร์แกเนลล์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ที่สำคัญดังนี้ คือแฟลเจลเลต (Flagellate) ซิลิเอต (Ciliate) ซาร์โคดีนา (Sarcodina) และพวกที่สร้างสปอร์ (Spore forming protozoa) (ศิริเพ็ญ, 2552) นอกจากนี้ Farmer (1980) กล่าวว่าโปรโตซัวบางชนิดเป็นดัชนีบ่งชี้ในการเปลี่ยนแปลงทางนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ การศึกษาการกระจายของโปรโตซัวทำให้ทราบชนิด ปริมาณ การดำรงชีวิตและการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำซึ่งจะเป็นแนวทางการวิจัยที่จะใช้โปรโตซัวเป็นดัชนีบอกคุณภาพน้ำหรือบำบัดน้ำเสีย

การศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวในแหล่งน้ำในประเทศไทยมีการศึกษากันในหลายพื้นที่ ได้แก่ อินทรา (2541) สำรวจความหลากหลายของโปรโตซัวที่คลองแม่ข่า จังหวัดเชียงใหม่ พบโปรโตซัวทั้งหมด 4 คลาส 104 ชนิด ได้แก่ คลาส Mastigophora 36 ชนิด คลาส Sarcodina 24 ชนิด คลาส Suctorina 3 ชนิด และคลาส Ciliata 11 ชนิด ต่อมา นันทพร และบพิตร (2542) รวบรวมชนิดโปรโตซัวน้ำจืดในประเทศไทยที่มีการศึกษาในจังหวัดต่าง ๆ ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 ถึง พ.ศ. 2542 รวม 166 สกุล และ 259 สายพันธุ์ การศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีรายงานจาก ธนาทิพย์ และวิชาญ (2543) ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำของเขื่อนปากมูลตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2542 ถึงเดือนพฤษภาคม 2543 พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 71 สกุล 221 ชนิด แพลงก์ตอนสัตว์ 29 สกุล 77 ชนิด (Protozoa 3 สกุล 7 ชนิด) ต่อมา ภูวณ (2546) ศึกษาชนิดโปรโตซัวและคุณภาพน้ำในแม่น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น พบโปรโตซัวทั้งหมด 13 คลาส 78 ชนิดดังนี้ คลาส Cryptomonadea 1 ชนิด คลาส Heliozoa 1 ชนิด คลาส Lobosea 11 ชนิด คลาส Dinoflagellata 2 ชนิด คลาส Phytomonadea 3 ชนิด คลาส Euglenoidea 32 ชนิด คลาส Oligohemaphysorea 7 ชนิด คลาส Nassophorea 2 ชนิด คลาส Litostomatea 4 ชนิด คลาส Phyllopharyngea 4 ชนิด คลาส Prostomatea 2 ชนิด คลาส Spirotrichea 8 ชนิด และคลาส Kareolicea 1 ชนิด พิณิจและคณะ (2547) ศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวในแม่น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2544 ถึงเดือนมิถุนายน 2545 พบโปรโตซัว 78 ชนิด และพบว่า โปรโตซัวที่อาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดชีวภาพบอกคุณภาพน้ำได้มี 15 ชนิด คือ *Aspidisca costata*, *Chilodonella cullulus*, *Chlamydomonas* sp., *Cyclidium glaucoma*, *Entosiphon* sp., *Euglena caudate*, *E. ehrenbergii*, *Euplotes aediculatus*, *Glenodinium* sp., *Pandorina morum*, *Phacus torta*, *Podophyra fixa*, *Trachelomonas armata*, *Trachelomonas* sp.3, และ *Trachelomonas* sp.4,

Wongrat และ Pipatcharoenchai (2003) ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในแหล่งน้ำจืด ได้แก่ แม่น้ำลำธาร อ่างเก็บน้ำ ฝายทดน้ำ นาข้าว หนองน้ำ และบึงในจังหวัดกาญจนบุรี พบแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด 69 สกุล 141 ชนิด แพลงก์ตอนกลุ่มที่พบมากที่สุด คือ โรติเฟอร์ Jithlang และ Wongrat (2006) ศึกษาการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนสัตว์ในเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ จังหวัดลพบุรี พบมีแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด 49 สกุล 119 ชนิด แพลงก์ตอนกลุ่มที่พบมากที่สุด คือ โรติเฟอร์ ต่อมา เพชร และคณะ (2548) สำรวจโปรโตซัวที่เขื่อนท่าด่าน จังหวัดนครนายก พบโปรโตซัว 90 ชนิด ได้แก่ คลาส Mastigophora 20 ชนิด คลาส Sarcodina 20 ชนิด คลาส Suctorina 6 ชนิด และคลาส Ciliata 44 ชนิด ยัวร์ตัน (2551) ศึกษาคุณภาพน้ำและความหลากหลายชนิดของโปรโตซัวในแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดนนทบุรี โดยเก็บตัวอย่างระหว่าง เดือนธันวาคม

2548 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2549 พบชนิดโพรโทซัวในฤดูฝน 7 คลาส 50 ชนิดดังนี้ คลาส Heliozoa 2 ชนิด คลาส Lobosea 7 ชนิด คลาส Phytomastigophorea 36 ชนิด คลาส Oligohemenophorea 1 ชนิด คลาส Prostomatea 1 ชนิด คลาส Spirotrichea 2 ชนิด และคลาส Litostomatidae 1 ชนิด

พินิจ และวรณยูภา (2550) ศึกษาความหลากหลายของโพรโทซัวในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบำบัดชีวภาพของโรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง พบว่า โพรโทซัวบางชนิดพบเฉพาะในน้ำเสียมาก เช่น *Podophyra colloni*, *P. fixa*, *Spirotomum teres* และ *Acinaria incurvata* บางชนิดพบเฉพาะในน้ำสะอาด เช่น *Arcella bathystoma*, *Amphileptus crapareder*, *Distigmopsis grossei*, *Entosiphon sulcatum*, *Lacrymaria olor* และ *Tetrahymena vorax* ดังนั้น โพรโทซัวดังกล่าวสามารถใช้เป็นดัชนีชี้ภาพชีวิตคุณภาพน้ำได้ ต่อมา ขนวรรณ และคณะ (2560) ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และกันยายน พ.ศ. 2559 จากผลการศึกษาพบแพลงก์ตอนสัตว์ 7 กลุ่ม 34 สกุล ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มโรติเฟอร์ จำนวน 19 สกุล คลาโดเซอรา 6 สกุล โพรโทซัว 3 สกุล โคพีพอด 2 สกุล ออสตราคอด 2 สกุล ตัวอ่อนของครัสเตเชียน 1 สกุล และแอนเนลิดา 1 สกุล

การศึกษาความหลากหลายของโพรโทซัวน้ำจืดในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการศึกษาไม่บ่อยมากนัก ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาและจันทบุรีก็เป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ มีป่าไม้ภูเขา รวมทั้งแม่น้ำที่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลายของโพรโทซัวมากนัก จันทบุรีมีเนื้อที่ประมาณ 6,388 ตารางกิโลเมตร สภาพภูมิประเทศประกอบไปด้วยป่าไม้ ภูเขา ที่ราบสูง ที่ราบลุ่มแม่น้ำ และที่ราบชายฝั่งทะเล แม่น้ำที่สำคัญ คือ แม่น้ำจันทบุรีซึ่งเป็นแม่น้ำที่สำคัญที่สุดของจังหวัดจันทบุรีเกิดจากเทือกเขาสอยดาวมีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 123 กิโลเมตรไหลผ่านพื้นที่หลายแบบเช่นภูเขา สวนผลไม้ พื้นที่ทำการเกษตรและชุมชนในเมือง เป็นแม่น้ำที่มีความหลากหลายของพันธุ์โดยต้นน้ำเป็นพื้นที่ที่ยังไม่มีการรบกวนและแม่น้ำยังไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการปนเปื้อนจากสารเคมีจากการเกษตร รวมทั้งพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของเสียจากชุมชนในเขตเมืองอีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความหลากหลายของโพรโทซัวในเขตจังหวัดจันทบุรี

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. สถานที่เก็บตัวอย่าง

การศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างโพรโทซัวเพื่อนำมาศึกษาโดยทำการสำรวจพื้นที่และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างในแม่น้ำจันทบุรีทั้งหมด 8 สถานี (ภาพที่ 1) ครอบคลุมพื้นที่ 3 อำเภอได้แก่ อำเภอเขาชีมภู อำเภอมะขาม และอำเภอเมือง

ตารางที่ 1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

สถานี	พิกัด
1. บ้านจันทเขลม ตำบลคลองพลู อำเภอเขาชีมภู จังหวัดจันทบุรี	N12° 59' 49" E 102° 3' 1"
2. เขื่อนศาลทราย ตำบลคลองพลู อำเภอเขาชีมภู จังหวัดจันทบุรี	N12° 55' 18" E 102° 1' 51"
3. Bokies House ตำบลพลวง อำเภอเขาชีมภู จังหวัดจันทบุรี	N12° 49' 36" E 102° 5' 11"
4. วัดกะทิง ตำบลพลวง อำเภอเขาชีมภู จังหวัดจันทบุรี	N12° 35' 6" E 102° 5' 9"
5. ถนนสุขุมวิท ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี	N12° 35' 3" E 102° 8' 37"
6. วัดจันทนาราม ตำบลจันทนิมิต อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี	N12° 35' 6" E 102° 5' 9"
7. ห้างโรบินสัน ตำบลจันทนิมิต อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี	N12° 36' 19" E 102° 7' 4"
8. ร้านอาหารบ้านจิม ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี	N12° 35' 6" E 102° 5' 9"

หมายเหตุ : สถานีที่ 1 เป็นต้นน้ำมีการปนเปื้อนน้อย, สถานีที่ 2, 3, 4, 5 มีพื้นที่ทำการเกษตรสวนผลไม้, สถานีที่ 6, 7, 8 ชุมชนบ้านเรือนมีการปนเปื้อนน้ำเสียจากชุมชน

เก็บตัวอย่างโพรโทซัวด้วยถุงลากลากแพลงก์ตอนขนาดตา 40 ไมโครเมตร โดยลากขนานกับผิวน้ำเป็นระยะทาง 5 เมตร เก็บตัวอย่างน้ำที่จะทำการศึกษาใส่ในขวดเก็บตัวอย่างและรักษาตัวอย่างโดยใช้ฟอร์มาลินเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ทำการวัดคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีบางประการ เพื่อวิเคราะห์สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี คุณภาพน้ำทั้งหมดที่

ตรวจวัดในภาคสนาม ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ, ความเป็นกรด-ด่าง (HANNA/HI98129) และค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (EUTECH/cyberscan DO 300) โดยเก็บตัวอย่าง 2 จุดคือ จุดน้ำหลัก (ตุลาคม 2559) และจุดน้ำน้อย (เมษายน 2560)

2. การตรวจสอบชนิดโพรโทซัว

นำตัวอย่างโพรโทซัวที่เก็บรักษาตัวอย่างด้วยสารละลายฟอร์มาลินเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นำมาตรวจสอบชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400-1,000 เท่า โดยใช้เอกสารการตรวจสอบชนิดและบันทึกภาพโพรโทซัว โดยทำการจัดจำแนกชนิดและการจัดหมวดหมู่ตาม บพิธ และนันทพร (2538), บพิธและนันทพร (2539), อินทรา (2541), บพิธและนันทพร (2542), นันทพร และบพิธ (2542), วรรณดา (2544), บพิธ (2545), บพิธ (2546), ภูวณ (2546), นันทพร (2547), ลัดดา (2547), บพิธและนันทพร (2549), Grell (1973), Farmer (1980), Kudo (1996), Charubhan and Charubhan (2000) และ Wongrat and Pipatcharoenchai (2003)

3. การวัดความหนาแน่นของ โพรโทซัว

เก็บตัวอย่างโพรโทซัวโดยใช้ถุงน้ำส้มเก็บตัวอย่างที่มีความลึก 30 เซนติเมตร โดยตักให้ครอบคลุมสถานที่เก็บตัวอย่าง ปริมาตรน้ำจำนวน 20 ลิตร จากนั้นกรองด้วยถุงเก็บแพลงก์ตอนขนาดตา 40 ไมโครเมตร นำตัวอย่างที่ได้ใส่ลงในขวดพลาสติกที่เตรียมไว้เก็บรักษาตัวอย่างด้วยฟอร์มาลินเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์ความหนาแน่นของโพรโทซัวในห้องปฏิบัติการทำได้โดยเขย่าขวดเก็บตัวอย่างเพื่อให้โพรโทซัวกระจายทั่วกัน นำตัวอย่างโพรโทซัวมา 1 มิลลิลิตรใส่ลงในสไลด์นับจำนวน (Sedwick-Rafter) จากนั้นปิดด้วยกระจกปิดสไลด์แล้วนำไปนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง นับจำนวนโพรโทซัวตามที่เห็นในช่องตารางสไลด์นับเซลล์ โดยสุ่มนับปริมาณ 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนที่นับได้ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาปริมาณความหนาแน่นของ โพรโทซัว (เซลล์ต่อลิตร) ตามแบบของ ลัดดา และโสภณา (2546) ดังนี้

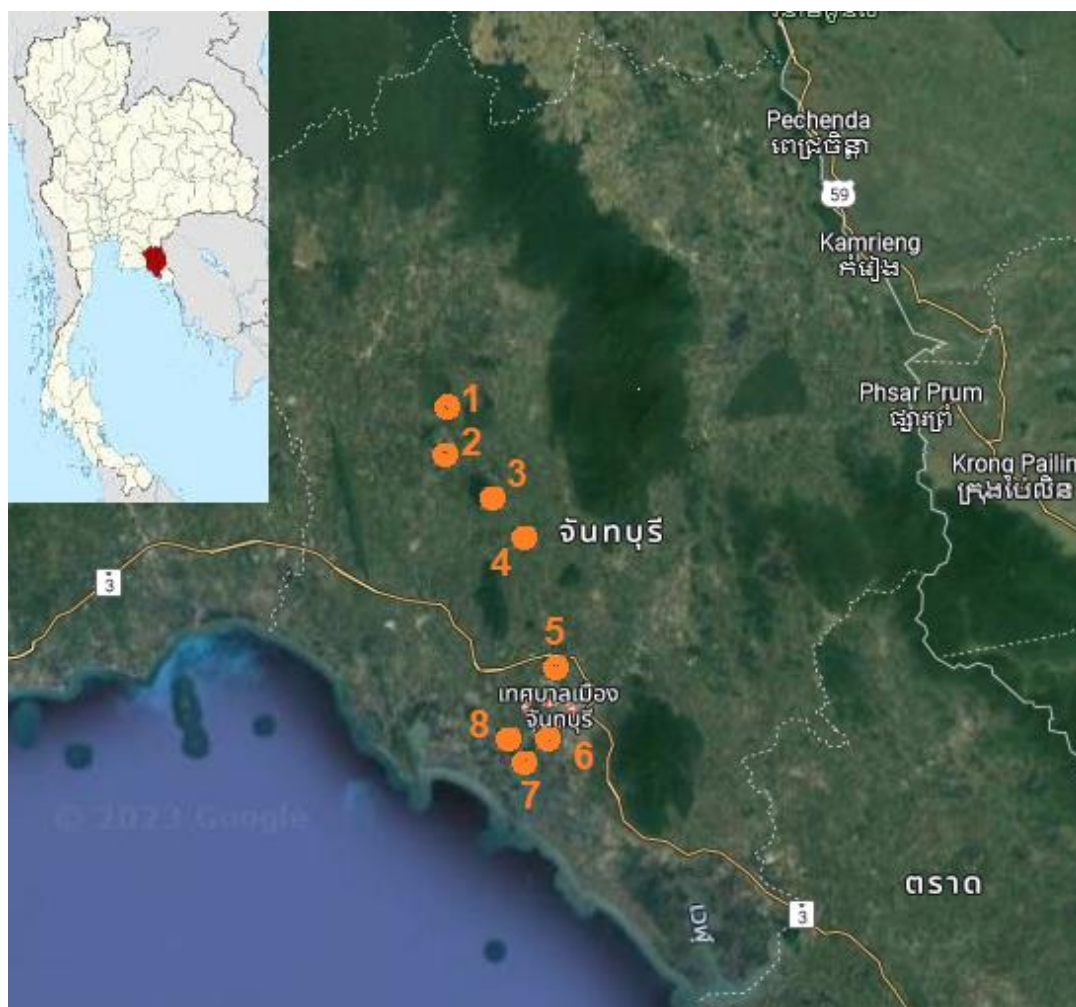
$$C = NV_2/V_1 \quad (1)$$

เมื่อ C = ความหนาแน่นของ โพรโทซัว (เซลล์ต่อลิตร)

N = ค่าเฉลี่ยจำนวน โพรโทซัวที่นับได้ในน้ำ 1 มิลลิลิตร

V_1 = ปริมาตรน้ำที่กรองผ่านถุงเก็บแพลงก์ตอน (ลิตร)

V_2 = ปริมาตรน้ำในขวดเก็บตัวอย่าง (มิลลิลิตร)



- สถานที่เก็บตัวอย่าง 1. บ้านจันทเขลม 2. เขื่อนศาลทราย 3. Bokies house 4. วัดกะทิง 5. ถนนสุขุมวิท 6. วัดจันทนาราม 7. ห้างโรบินสัน 8. ร้านอาหารปั่นจิ้ม

รูปที่ 1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำโดยใช้สถิติพรรณนานอกจากนี้ยังใช้การวิเคราะห์ One-Way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปัจจัยต่าง ๆ เช่น คุณภาพน้ำและความหนาแน่นของโพธิ์ท้าว คำนวณค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพโดยใช้สูตรของ Shannon-Weiner Index (H') (Nolan and Callahan, 2005), Evenness index (Shannon, 1948) ตามสูตร ดังนี้

สูตรคำนวณค่าความหลากหลายชนิด (Shannon-Wiener Diversity Index, H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i)(\ln P_i) \quad (2)$$

เมื่อ H' = ดัชนีความหลากหลาย

S = จำนวนชนิด

P_i = สัดส่วนของจำนวนสิ่งมีชีวิตที่พบต่อจำนวนประชากรทั้งหมด

สูตรคำนวณค่าความสม่ำเสมอของสิ่งมีชีวิต (Shannon Evenness, J')

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \quad (3)$$

เมื่อ H' = Shannon-Wiener Index

S = จำนวนชนิด

ผลการวิจัย

1. ค่าคุณภาพน้ำ

ค่าคุณภาพน้ำทั้ง 8 สถานี พบว่า คุณภาพน้ำในแต่ละสถานี และฤดูกาลในทุกพารามิเตอร์ตลอดการศึกษามีค่าใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิน้ำอยู่ระหว่าง 25.0-28.5 องศาเซลเซียส (เฉลี่ย 26.4 องศาเซลเซียส), ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าระหว่าง 6.25-7.30 (เฉลี่ย 6.83), ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) มีค่าระหว่าง 5.4-20.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 8.15 มิลลิกรัมต่อลิตร) และพบว่า ค่าอุณหภูมิในแต่ละสถานีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่า DO และ pH ในแต่ละสถานีไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ตารางที่ 2

เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิทั้ง 8 สถานีจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่มดังนี้ กลุ่ม a ได้แก่ สถานีที่ 1, 2, 4, 5, 6, 7 และ 8 กลุ่ม b ได้แก่ สถานีที่ 3 ส่วนค่า DO ทั้ง 8 สถานีจัดกลุ่มได้ 2 กลุ่ม กลุ่ม a ได้แก่ สถานีที่ 1 กลุ่ม b ได้แก่ สถานีที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และค่า pH ทั้ง 8 สถานีจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่มดังนี้ กลุ่ม a สถานีที่ 6 กลุ่ม b ได้แก่ สถานีที่ 2, 3, 4, 5, 7 และ 8 กลุ่ม c ได้แก่ สถานีที่ 1, 4 และ 5

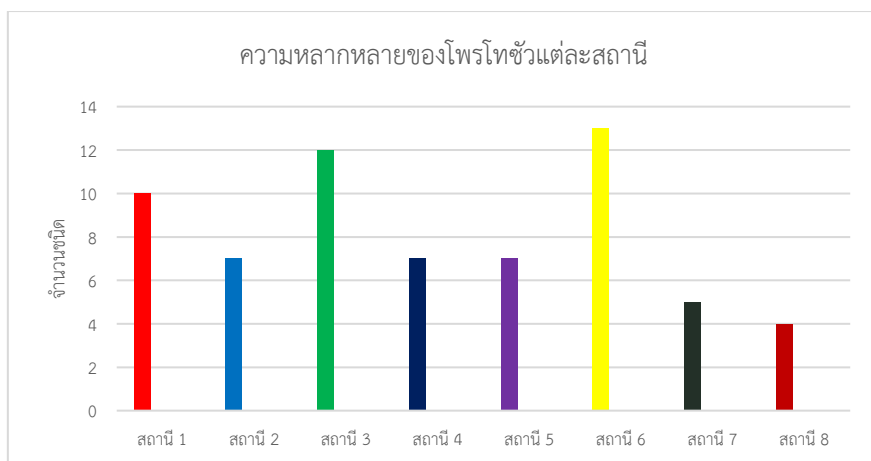
ตารางที่ 2 ค่าคุณภาพน้ำ

ค่าคุณภาพน้ำ	สถานี							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperature	26±0.50 ^a	25.6±0.60 ^a	28.25±0.25 ^b	26.45±0.65 ^a	25.90±0.30 ^a	26.35±0.65 ^a	26.65±0.15 ^a	26.00±0.20 ^a
DO	17.75±2.75 ^a	6.60±0.60 ^b	6.75±0.15 ^b	5.70±0.10 ^b	8.00±0.80 ^b	7.00±0.70 ^b	6.10±0.20 ^b	7.00±0.30 ^b
pH	7.25±0.05 ^c	6.85±0.25 ^b	8.00±0.05 ^b	6.75±0.80 ^{bc}	6.10±0.70 ^{bc}	7.00±0.20 ^a	7.30±0.20 ^b	7.30±0.20 ^b

2. ความหลากหลายชนิดของโพรโทซัว

การศึกษาชนิดและความชุกชุมของโพรโทซัวจากการเก็บตัวอย่าง 2 ฤดู คือ ฤดูน้ำหลาก และฤดูน้ำน้อยในแม่น้ำจันทบุรี พบโพรโทซัวทั้งหมด 17 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 คลาส 6 สกุล สกุลเด่นคือ *Euglena* (รูปที่ 4, 8) พบมากที่สุด 9 ชนิด ได้แก่ *Euglena acus*, *E. filifera*, *E. longicauda*, *E. oxyuris* (รูปที่ 4), *E. rostrifera*, *E. rubra*, *E. spiroides*, *E. spirogyra* และ *E. tripteris* รองลงมาคือ *Arcella* (4 ชนิด) ได้แก่ *Arcella bathystoma* (รูปที่ 6), *A. megastoma*, *A. polypore* (รูปที่ 9) และ *Arcella* sp.

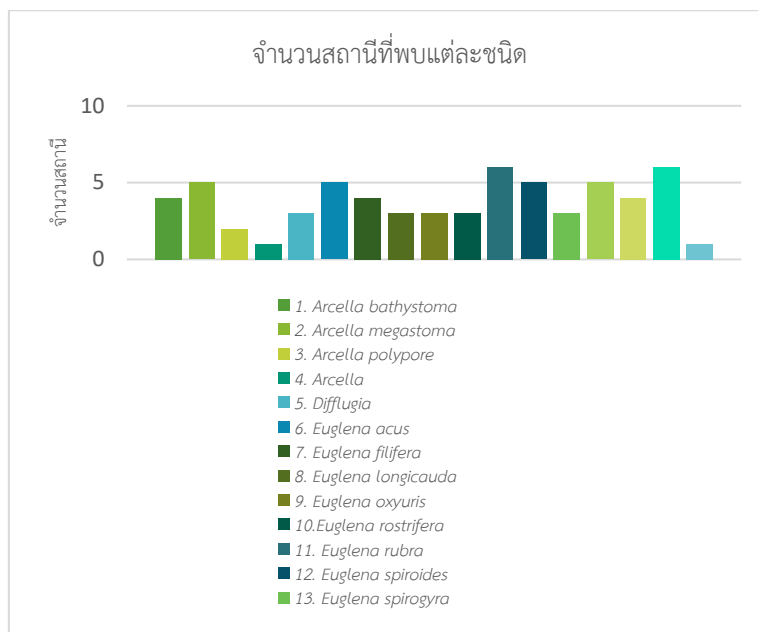
ชนิดที่พบแพร่กระจายมากที่สุด 6 สถานีมี 2 ชนิด คือ *E. rubra* และ *Pleodorina illinoisensis* (รูปที่ 7) รองลงมาพบ 5 สถานีมี 3 ชนิด ได้แก่ *Arcella megastoma*, *E. acus* และ *E. spiroides* (รูปที่ 8) ชนิดที่พบแพร่กระจายน้อยที่สุด 1 สถานี คือ *Heteronema acus* และ *Arcella* sp. (รูปที่ 3) ความหลากหลายของโพรโทซัวในแต่ละสถานีพบว่า สถานีที่ 6 (วัดจันทนาราม) มีความหลากหลายมากที่สุด 13 ชนิด รองลงมาคือสถานีที่ 3 (Bokies house) พบโพรโทซัว 12 ชนิด ส่วนสถานีที่พบจำนวนชนิดโพรโทซัวน้อยที่สุดคือ สถานีที่ 8 (ร้านอาหารบ้านจิม) พบ 4 ชนิด ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความหลากหลายของโพรโทซัวแต่ละสถานี

ตารางที่ 3 ชนิดของโพรโทซัวที่พบ (1 พบโพรโทซัว, 0 ไม่พบโพรโทซัว)

ชนิดของโพรโทซัว	สถานที่เก็บตัวอย่างโพรโทซัว							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Phylum Sarcomastigophora								
Class Lobosea								
Genus <i>Arcella</i>								
<i>Arcella bathystoma</i>	1	0	1	1	0	0	1	0
<i>Arcella megastoma</i>	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Arcella polypore</i>	0	0	0	1	0	0	1	1
<i>Arcella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	1
Genus <i>Diffugia</i>								
<i>Diffugia</i> sp.	0	0	0	0	1	1	0	1
Phylum Sarcomastigophora								
Class Phytomastigophorea								
Genus <i>Euglena</i>								
<i>Euglena acus</i>	1	1	1	1	0	1	0	0
<i>Euglena filifera</i>	1	0	1	1	0	1	0	0
<i>Euglena longicauda</i>	1	0	1	0	0	1	0	0
<i>Euglena oxyuris</i>	1	0	1	0	0	1	0	0
<i>Euglena rostrifera</i>	1	0	1	0	0	1	0	0
<i>Euglena rubra</i>	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>Euglena spiroides</i>	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>Euglena spirogyra</i>	1	0	0	1	1	1	0	0
<i>Euglena tripteris</i>	1	1	1	0	1	0	1	0
Genus <i>Phacus</i>								
<i>Phacus</i> sp.	1	1	1	0	0	1	0	0
Genus <i>Pleodorina</i>								
<i>Pleodorina illinoisensis</i>	0	1	1	0	1	1	1	1
Genus <i>Heteronema</i>								
<i>Heteronema acus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0



รูปที่ 3 จำนวนสถานที่พบโพรโทซัว

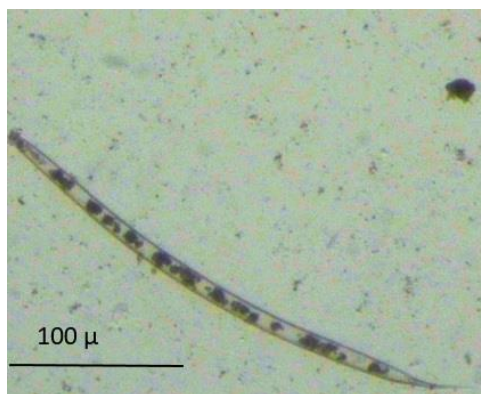
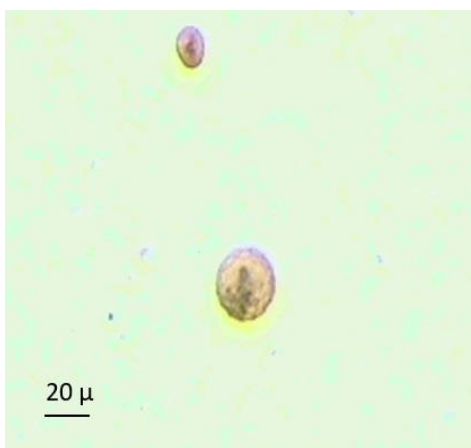
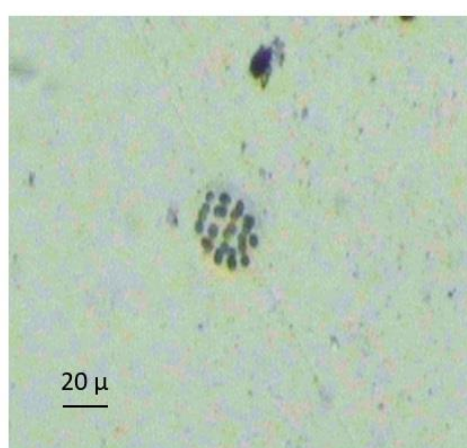
3. ความหนาแน่นของโพรโทซัว

ชนิดที่มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดในฤดูแล้งคือ *Phacus* sp. จำนวน 200 ตัว/ลิตร ชนิดที่พบหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ *A. polypore*, *E. oxyuris* และ *E. tripteris* จำนวน 50 ตัว/ลิตร ส่วนในฤดูน้ำน้อยชนิดที่มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดคือ *E. acus*, *Phacus* sp. และ *H. acus* จำนวน 200 ตัว/ลิตร ชนิดที่พบหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ *A. polypore* (รูปที่ 9) *Arcella* sp. และ *E. tripteris* จำนวน 50 ตัว/ลิตร ดัชนีความหลากหลาย Shannon-Weiner Index (H') ฤดูแล้งหลากหลายเท่ากับ 2.55 ส่วนฤดูน้ำน้อยเท่ากับ 2.73 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index) ทั้งสองฤดูในการพบโพรโทซัวไม่แตกต่างกัน โดยฤดูแล้งหลากหลายเท่ากับ 0.15 ส่วนฤดูน้ำน้อยเท่ากับ 0.16 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 4 จำนวนโพรโทซัวที่พบ (จำนวนตัว/ลิตร)

Protozoa	จำนวนตัว/ลิตร	
	Wet	Dry
Phylum Sarcomastigophora		
Class Lobosea		
Genus <i>Arcella</i>		
<i>Arcella bathystoma</i>	100	150
<i>A. megastoma</i>	100	100
<i>A. polypore</i>	50	50
<i>Arcella</i> sp.	100	50
Genus <i>Diffflugia</i>		
<i>Diffflugia</i> sp.	150	100
Class Phytomastigophora		
Genus <i>Euglena</i>		
<i>Euglena acus</i>	150	200
<i>E. filifera</i>	150	150
<i>E. longicauda</i>	100	100

<i>E. oxyuris</i>	50	100
<i>E. rostrifera</i>	150	75
<i>E. rubra</i>	125	112
<i>E. spiroides</i>	100	100
<i>E. spirogyra</i>	100	117
<i>E. tripteris</i>	50	50
Genus <i>Phacus</i>		
<i>Phacus</i> sp.	200	200
Genus <i>Pleodorina</i>		
<i>Pleodorina illinoisensis</i>	112	100
Genus <i>Heteronema</i>		
<i>Heteronema acus</i>	100	200
Shannon-Weiner Index (H')	2.55	2.73
Evenness index	0.15	0.16

รูปที่ 4 *Euglena oxyuris*รูปที่ 5 *Difflugia* sp.รูปที่ 6 *Arcella bathystoma*รูปที่ 7 *Pleodorina illinoisensis* (พบมากที่สุด 6 สถานี)

รูปที่ 8 *Euglena spiroides*รูปที่ 9 *Arcella polyopore*

การอภิปรายผล

1. ค่าคุณภาพน้ำ

ค่าคุณภาพน้ำบริเวณแม่น้ำจันทบุรี จำนวน 8 สถานี พบว่า คุณภาพน้ำในแต่ละสถานีและฤดูกาลในทุกพารามิเตอร์ตลอดการศึกษามีค่าใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิมีน้ำอยู่ระหว่าง 25.0-28.5 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างมีค่าระหว่าง 6.25-7.30 จัดว่าเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำโดย pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 6-8 (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าระหว่าง 5.4-20.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สรุปว่า ค่าคุณภาพน้ำจาก 8 สถานีทั้ง 2 ฤดูดังกล่าวจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (Environmental Protection Agency, 1973) จากข้อมูลพบว่าแม่น้ำจันทบุรีจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 3 คุณภาพน้ำพอใช้ (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2530)

2. ความหลากหลายชนิดของโพรโทซัว

การศึกษาชนิดและความหลากหลายของโพรโทซัวจากการเก็บตัวอย่าง 2 ฤดู ในแม่น้ำจันทบุรีพบทั้งหมด 17 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 คลาส 6 สกุล ได้แก่ *Arcella*, *Euglena*, *Diffugia*, *Pleodorina*, *Phacus* และ *Heteronema* ซึ่งพบน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ อินทรา (2541) ศึกษาโพรโทซัวในคลองแม่ข่า จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อปี 2541 พบโพรโทซัว 4 คลาส ได้แก่ *Ciliata*, *Mastigophora*, *Sarcodina* และ *Sutria* อาจเป็นเพราะคุณภาพน้ำในแม่น้ำจันทบุรีมีการปนเปื้อนของยาฆ่าแมลงและสารปราบวัชพืชจากสวนผลไม้ การศึกษาในครั้งนี้พบจำนวนชนิดโพรโทซัวค่อนข้างน้อยอาจเป็นเพราะแหล่งน้ำที่เก็บตัวอย่างมีอัตราการไหลของน้ำค่อนข้างแรงทำให้พบชนิดโพรโทซัวน้อย เนื่องจากมีการสะสมของแร่ธาตุและจำนวนแพลงก์ตอนพืชน้อย ซึ่งในน้ำไหลสารอาหารหรือแพลงก์ตอนจะถูกพัดพาไปตามกระแสน้ำได้มากกว่าทำให้พบแพลงก์ตอนทั้งจำนวนและชนิดน้อยกว่าในน้ำนิ่ง (Suthers and Rissik, 2011)

การศึกษานี้พบโพรโทซัวสกุลเด่น คือ *Euglena* พบมากที่สุด 9 ชนิด รองลงมาคือ *Arcella* (4 ชนิด) สอดคล้องกับ ยุวรัตน์ (2551) ศึกษาความหลากหลายชนิดของโพรโทซัวและคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาเขตจังหวัดนนทบุรี พบโพรโทซัว 60 ชนิด สกุลที่เด่น ได้แก่ *Euglena* และ *Phacus* ซึ่งมีจำนวนชนิดมากกว่าการศึกษานี้ที่พบเพียง 17 ชนิด อาจจะเป็นเนื่องมาจากการศึกษาครั้งนี้เก็บตัวอย่างไม่ได้ทำทุกเดือน การศึกษานี้พบทั้งสกุล *Euglena* และ *Phacus* ซึ่งสามารถใช้ประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำโดยใช้ AARL-PP Score ตามแบบ Peerapornpisal et al. (2004) โดยคิดคะแนนจาก *Euglena* = 10 และ *Phacus* = 8 มีค่าเฉลี่ย = 9 บ่งชี้ได้ว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูง (Eutrophic status)

ค่าคุณภาพน้ำในการศึกษานี้พบว่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยคือ 26.4°C ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ย 6.83 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ยคือ 8.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับ อินทรา (2541) พบว่า อุณหภูมิของน้ำมีค่าระหว่าง 20.1-34.3°C ความเป็นกรด-ด่าง 5.45-8.48 และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีค่าระหว่าง 0.1-8.50 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความแตกต่างกันมากเนื่องมาจากคลองแม่ข่าเป็นคลองที่รับน้ำเสียจากชุมชน และเมื่อพิจารณาถึงชนิดโพรโทซัวที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ น้ำเสีย พบว่า การศึกษานี้มีจำนวนโพรโทซัว 3 ชนิด คือ *E. spirogyra*, *E. tripteris* และ *H. acus* ขณะที่คลองแม่ข่ามี

ชนิดโพรโทซัวที่บ่งชี้ว่าเสียถึง 21 ชนิด จำนวนที่ต่างกันมากเนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ส่วนมากเป็นแหล่งต้นน้ำมีการปนเปื้อนน้ำเสียจากชุมชนน้อยกว่าคลองแม่ข่าที่รับน้ำทิ้งจากชุมชน

การศึกษาครั้งนี้พบสกุล *Diffugia* 1 ชนิด และพบ 3 สถานเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ ชนวรรณ และคณะ (2560) ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และกันยายน พ.ศ. 2559 พบโพรโทซัวสกุล *Diffugia* มากที่สุด 3 ชนิด เมื่อเทียบกับรายงานของ ธนาทิพย์ และ วิชาญ (2543) พบโพรโทซัวในเขื่อนปากมูล จังหวัดอุบลราชธานี พบสกุลเด่น คือ *Diffugia* และอินทรีรา (2541) พบสกุล *Diffugia* 3 ชนิด แสดงว่า *Diffugia* เป็นโพรโทซัวที่มีการแพร่กระจายหลายพื้นที่ในประเทศไทย

ผลการสำรวจในครั้งนี้พบโพรโทซัว คลาส Phytomastigophora มากที่สุด ทั้งนี้การพบโพรโทซัว คลาส Phytomastigophora มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างของน้ำ คือแหล่งน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากก็จะพบโพรโทซัวใน คลาส Phytomastigophora มากเช่นกัน (สุขสรรค์, 2548) ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณภาพของแหล่งน้ำพบว่า มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูง 5.4-20.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากแหล่งน้ำที่ศึกษาเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ซึ่งจัดว่าเป็นน้ำคุณภาพดี (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537) นอกจากนี้มีโพรโทซัวบางชนิดที่พบในแหล่งน้ำหลายสถาน คือ *E. rostifera* ซึ่งโพรโทซัวกลุ่มนี้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพน้ำต่าง ๆ กันได้ สอดคล้องกับรายงานของ มนตรี (2551) ว่า *E. rostifera* มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีสามารถปรับตัวอยู่ได้กับแหล่งน้ำหลายแบบได้

การศึกษาครั้งนี้พบโพรโทซัว *A. bathystoma* สอดคล้องกับ พินิจ และวรณยุภา (2550) ศึกษาความหลากหลายของโพรโทซัวในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบำบัดชีวภาพของโรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง พบว่า *A. bathystoma* พบเฉพาะในแหล่งน้ำสะอาด ดังนั้นแม่น้ำจันทบุรีถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีความปนเปื้อนจากมลพิษค่อนข้างน้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

นอกจากนี้ยังพบโพรโทซัว *E. spiroides* ซึ่งเป็นโพรโทซัวที่ต้องการสารอาหารมากในการดำรงชีวิต (สุขสรรค์, 2548) และมีความทนทานต่อคุณภาพน้ำที่มีสารอาหารสูง (โณมยงค์, 2541) เนื่องจากบริเวณที่ศึกษามีการทำการเกษตรค่อนข้างมากและมีการชะล้างของปุ๋ยลงสู่แหล่งน้ำ

3. ความหนาแน่นของโพรโทซัว

โพรโทซัวชนิดที่มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดในฤดูน้ำหลากคือ *Phacus* sp. จำนวน 200 ตัว/ลิตร ชนิดที่พบหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ *A. polypore*, *E. oxyuris* และ *E. tripteris* จำนวน 50 ตัว/ลิตร ส่วนในฤดูแล้งชนิดที่มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดคือ *E. acus*, *Phacus* sp. และ *H. acus* จำนวน 200 ตัว/ลิตร ชนิดที่พบหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ *A. polypore*, *Arcella* sp. และ *E. tripteris* จำนวน 50 ตัว/ลิตร จากข้อมูลทั้งสองฤดูโพรโทซัว *Phacus* sp. มีความหนาแน่นมากที่สุดแสดงว่าเป็นชนิดที่มีความชุกชุมมากในแม่น้ำจันทบุรี ดัชนีความหลากหลาย Shannon-Weiner Index (H') ฤดูแล้งเท่ากับ 2.55 ส่วนฤดูน้ำน้อยเท่ากับ 2.73 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแต่เนื่องจากจันทบุรีมีฝนตกมากในฤดูน้ำหลากน้ำไหลแรงทำให้สารอาหารถูกพัดพาไปอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีดัชนีความหลากหลายน้อยกว่า ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index) ทั้งสองฤดูในการพบโพรโทซัวไม่แตกต่างกัน โดยฤดูแล้งเท่ากับ 0.15 ส่วนฤดูน้ำน้อยเท่ากับ 0.16

บทสรุป

ผลการศึกษาการศึกษาคูณภาพน้ำและความหลากหลายของโพรโทซัวในแม่น้ำจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี ทั้งหมด 8 สถานี เก็บตัวอย่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 และเดือนเมษายน พ.ศ. 2560 อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยคือ $26.4 \pm 0.88^{\circ}\text{C}$ ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ย 6.83 ± 0.92 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ยคือ 8.15 ± 3.44 มิลลิกรัมต่อลิตร พบโพรโทซัวทั้งหมด 2 คลาส 6 สกุล 17 ชนิด ความหนาแน่นของโพรโทซัวชนิดที่มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดในฤดูน้ำหลากคือ *Phacus* sp. จำนวน 200 ตัว/ลิตร ชนิดที่พบหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ *A. polypore*, *E. oxyuris* และ *E. tripteris* จำนวน 50 ตัว/ลิตร ส่วนในฤดูแล้งชนิดที่มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดมี 3 ชนิดคือ *E. acus*, *Phacus* sp. และ *H. acus* จำนวน 200 ตัว/ลิตร ชนิดที่พบหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ *A. polypore*, *Arcella* sp. และ *E. tripteris* จำนวน 50 ตัว/ลิตร ดัชนีความหลากหลาย Shannon-Weiner Index (H') ฤดูแล้งเท่ากับ 2.55 ส่วนฤดูน้ำน้อยเท่ากับ 2.73 และดัชนี Evenness index ฤดูแล้งเท่ากับ 0.15 ส่วนฤดูน้ำน้อยเท่ากับ 0.16

ข้อเสนอแนะ การศึกษาความหลากหลายของโพรโทซัวในแม่น้ำจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี ทั้งหมด 8 สถานี เก็บตัวอย่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 และเดือนเมษายน พ.ศ. 2560 พบโพรโทซัวทั้งหมด 2 คลาส 6 สกุล 17 ชนิด การศึกษาครั้งนี้พบจำนวนชนิดโพรโทซัวค่อนข้างน้อยเนื่องจากเก็บตัวอย่างเพียงสองเดือน ดังนั้นการวิจัยครั้งต่อไปควรเก็บตัวอย่างทุกเดือนเพื่อที่จะได้ข้อมูลที่หลากหลายมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2538). พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม: กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). รายงานสถานการณ์มลพิษทางน้ำ 2546. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ: กรุงเทพฯ.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2537). เรื่องการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดผิวดิน ประกาศ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ: กรุงเทพฯ.
- โหมยงค์ ไชยอุบล. (2541). ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับการกระจายของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ในอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชนวรรณ ไทวรรณ, บัณฑิตา สวัสดิ์ และจุฑารัตน์ แก่นจันทร์. (2560). ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในลำน้ำเสียว ในเขตจังหวัดมหาสารคาม. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม.
- ธนาทิพย์ แผลมคม และวิษณุ แก้วเลื่อน. (2543). การศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำของเขื่อนปากมูล. ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 39 สาขาประมง. 5-7 กุมภาพันธ์ 2544 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 70-79.
- นันทพร จารุพันธุ์. (2547). โพรโทซัวและจุลชีพสัตว์ในน้ำจืด. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- นันทพร จารุพันธุ์ และบพิตร จารุพันธุ์. (2542). การสำรวจโปรโตซัวน้ำจืดในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- บพิตร จารุพันธุ์. (2545). สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โพรโทซัวถึงทาร์ดิกราตา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- บพิตร จารุพันธุ์. (2546). โพรโทซัววิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- บพิตร จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์. (2538). สัตววิทยา Zoology. รุ่งวัฒนาการพิมพ์: กรุงเทพฯ.
- บพิตร จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์. (2539). โปรโตซัวในแหล่งน้ำจืด. ห้างหุ้นส่วนจำกัดพินิจพิสัย: กรุงเทพฯ.
- บพิตร จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์. (2542). การสำรวจโปรโตซัวน้ำจืดในประเทศไทย. รายงานการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- บพิตร จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์. (2549). โพรโทซัวในแหล่งน้ำจืด. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- พินิจ หวังสมนึก, ภูวนธร กรพันธุ์ และสมพงษ์ ดุลย์จินดาบวร. (2547). ความหลากหลายของโปรโตซัวในแม่น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 32(1): 53-69.
- พินิจ หวังสมนึก และวรุณยุภา เย็นเฉื่อย. (2550). ความหลากหลายของโพรโทซัวในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพของโรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 35(4): 264-276.
- เพชร ประสานบุญ, สุรินทร์ เมตรดาชีพ และพรกฤษณ์ ดำรงโรจน์วัฒนา. (2548). การศึกษาโพรโทซัวในเขื่อนคลองท่าด่าน จังหวัดนครนายก. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2565. <http://kucon.lib.ku.ac.th/FullText/KC4505070.pdf>.

- ภูวนธร กรพันธ์. (2546). ความหลากหลายของโปรโตซัวในแม่น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- มนตรี ประเสริฐฤทธิ์. (2551). การกระจายตัวและความหลากหลายชนิดของโปรโตซัวและสัตว์น้ำขนาดเล็กในคลองสมถวิลเทศบาลเมืองมหาสารคาม. โรงเรียนบางกะปิ: กรุงเทพฯ.
- ยุวรัตน์ ปรมิตนาภรณ์. (2551). ปัจจัยทางเคมี-กายภาพของระบบนิเวศน้ำจืดที่สัมพันธ์กับความหลากหลายชนิดของโปรโตซัวตามฤดูกาลกรณีศึกษาในแม่น้ำเจ้าพระยา เขตจังหวัดนนทบุรี. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. วารสารวิจัย มสท สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 3(1): 21-34.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. (2547). แพลงก์ตอนสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- ลัดดา วงศ์รัตน์ และโสภณา บุญญาภิวัฒน์. (2546). คู่มือวิธีการเก็บและวิเคราะห์แพลงก์ตอน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- วรรณดา พิพัฒน์เจริญชัย. (2544). ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในจังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริเพ็ญ สุภัทราวิวัฒน์. (2552). สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชั้นต่ำ. โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.
- สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. (2530). เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด. เอกสารวิชาการ. ฉบับที่ 75.
- สุขสรรค์ ชูบุญ. (2548). ความสัมพันธ์ของโปรโตซัวและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำอ่างแก้วและห้วยตึงเฒ่า จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อินทรา ปรงเกียรติ. (2541). ความหลากหลายของโปรโตซัวและคุณภาพน้ำในคลองแม่ข่า จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Charubhan B. and Charubhan N. (2000). Biodiversity of Freshwater Protozoa in Thailand. Kasetart Journal (Natural Science). 34: 486-494.
- Environmental Protection Agency. (1973). Water Quality Criteria, 1972. A Report of the Committee on Quality Criteria, Environmental Studies Board, U.S. Government Printing Office: Washington D.C.
- Farmer J.N. (1980). The Protozoa: Introduction to Protozoology. 1st Edition. The C. V. Mosby Company: St. Louis.
- Grell K.G. (1973). Protozoology. Toppen Printing Co.(S) Pte. Ltd., Singapore.
- Kudo R.R. (1966). Protozoology 5th Edited. Charles C. Thomas Publisher, Springfield, Illinois.
- Jithlang I. and Wongrat L. (2006). Composition and distribution of zooplankton in the Pasak Jolasid Reservoir, Lop Buri Province. Kasetart University Fisheries Research Bulletin. 30: 1-18.
- Nolan A.K. and Callahan E.J. (2006). Beachcomber Biology: The Shannon-Weiner Species Diversity Index. 367 ABLE 2005 Proceedings. Blacksburg, Virginia. 334-338.
- Peerapornpisal Y., Chaiubol C., Pekkoh J., Kraibut H., Chorum M., Wannathong P., Ngearnpat N., Jusakul K., Thammathiwat A., Chuanunta J. and Inthasotti T. (2004). Monitoring of water quality in Ang Kaew reservoir of Chiang Mai University using phytoplankton as bioindicator from 1995-2002. Chiang Mai Journal of Science. 31(1): 85-94.
- Shannon C.E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal. 27(3): 379-423.
- Suther L.M. and Rissik D. (2011). Plankton. Csiro Publishing. Australia.
- Wongrat L. and Pipatcharoenchai W. (2003). Zooplankton of Kanchanaburi Province. Kasetart University Fisheries Research Bulletin. 25: 8-29.

Received: August 22, 2023; Revised: November 16, 2023; Accepted: November 29, 2023

การประเมินผลผลิตและคุณภาพมะเขือเทศสายพันธุ์ที่รายงานความต้านทานโรค ในสภาพโรงเรือน

Evaluation of yield and qualities of reported resistant tomato lines under plastic-net house

ชัชวาล แสงฤทธิ์^{1*} ศุภสิพร พิมพกลาง¹ และธัญญารัตน์ ตาอินต๊ะ²Chadchawarn Sangrit^{1*}, Suleeporn Pimklang¹ and Tanyarat Tainta²¹คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม¹Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province²คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น²Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen Province

*Corresponding Author E-mail Address : chdhort@npu.ac.th

บทคัดย่อ

โรคพืชเป็นปัญหาหลักในการผลิตมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) ที่ส่งผลให้ผลผลิตและคุณภาพลดลง โดยเฉพาะประเทศในเขตร้อนและร้อนชื้นรวมทั้งประเทศไทย การใช้พันธุ์มะเขือเทศต้านทานต่อโรคจะช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนด้านการผลิตให้แก่เกษตรกรได้ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเมินผลผลิตและคุณภาพสายพันธุ์มะเขือเทศที่มีถิ่นความต้านทานโรคในสภาพโรงเรือนตาข่ายมุ้งด้วยพลาสติก (Plastic-net house) จำนวนทั้งหมด 23 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ทดสอบ 19 สายพันธุ์ และพันธุ์ต้านทานเปรียบเทียบ 4 พันธุ์ คือ HAWAII 7996, R3034-3-10-N-UG, Ty52 และ CXD227 โดยทำการทดสอบในฤดูหนาวระหว่าง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2565 ที่แปลงทดลอง สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design; RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น ทำการทดสอบมะเขือเทศ จำนวน 23 พันธุ์/สายพันธุ์ จากการศึกษา พบว่า มะเขือเทศพันธุ์ที่ทดสอบให้ผลผลิตต่อต้นสูง จำนวน 2 สายพันธุ์ คือ CLN2777-168-27-2-7-8-8 และ KKKU-T47-1 (ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,253.7 และ 2,157.6 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) และสำหรับสายพันธุ์ที่มีจำนวนผลต่อต้นสูง คือ TML46-N-12-N-early-NT, CLN2768-69-23-30-30-27-9 และ KKKU-T47-10 มีจำนวนผลเฉลี่ย 67.4, 53.5, 50.7 ผลต่อต้น ตามลำดับ สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ TSS (องศาบริกซ์) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ ทดสอบเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4-6 องศาบริกซ์ และสายพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดต่อผลค่อนข้างสูงที่สุด (มากกว่า 100 เมล็ด) คือ สายพันธุ์ KKKU-T47-10, CLN2777-168-27-2-7-8-8, CLN3087F1-12-34-29-7-8-5-0, KKKU-T47-1, KKKU-T47-5 และ TML46-N-12-N-early-NT (116.3, 113.8, 111.8, 106.1, 102.4 และ 101.1 เมล็ดต่อผล ตามลำดับ) ดังนั้นสามารถนำมะเขือเทศสายพันธุ์ดังกล่าวมาเผยแพร่สำหรับเป็นพันธุ์การค้า หรือเชื้อพันธุ์กรรมสำหรับการพัฒนาพันธุ์ที่ดีต่อไป

คำสำคัญ: การคัดเลือก ต้านทานโรค ไลโคพีน โรงเรือน เมล็ดพันธุ์

Abstract

Plant disease is a main reduced yield and qualities in tomato production particularly sub-tropical and tropical regions including Thailand. Therefore, tomato production by using resistant variety can increase their yield and reduced production costs. The objective of this study, 23 varieties/lines were evaluated for yield and qualities in plastic-net house condition, i.e., 19 improved lines resistant tomato varieties and four resistant check varieties (HAWAII 7996, R3034-3-10-N-UG, Ty52 and CXD227). All of tomato varieties/lines were conducted at the experimental field of Nakhon Phanom University during dry season (October 2021-March 2022). Randomized complete block (RCB) design was used with 3 replications and 5 plants per replication. The results clearly showed that CLN2777-168-27-2-7-8-8 and KCU-T47-1 gave the highest fruit yield (2,253.7 and 2,157.6 g./plant, respectively). TML46-N-12-N-early-NT, CLN2768-69-23-30-30-27-9 and KCU-T47-10 gave the highest fruit number (67.4, 53.5, 50.7 fruit/plant, respectively). The total soluble solids were found not significant all tomato lines, ranged to 4-6%brix. The highest number of seed per fruit (>100 seed) were found in KCU-T47-10, CLN2777-168-27-2-7-8-8, CLN3087F1-12-34-29-7-8-5-0, KCU-T47-1, KCU-T47-5 and TML46-N-12-N-early-NT tomato lines (116.3, 113.8, 111.8, 106.1, 102.4 and 101.1 seed/fruit, respectively). Thus, mentioned lines could be used for release as commercial variety or potential breeding stock.

Keywords: Selection, Disease resistance, Lycopene, Green house, Seed

บทนำ

มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) เป็นพืชผักทางเศรษฐกิจที่สำคัญ นิยมบริโภคกันทั่วโลก ทั้งยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยวิตามิน เบต้า-แคโรทีน ไลโคปีน รวมทั้งสารต่อต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ (สุชีลา, 2562) มีพื้นที่การเพาะปลูกทั่วโลก ในปี 2563 ประมาณ 32 ล้านไร่ มีผลผลิตมากกว่า 182 ล้านตัน (FOSTAT, 2023) สำหรับประเทศไทยมีการบริโภคมะเขือเทศกันอย่างแพร่หลายทั้งในรูปแบบการบริโภคสดและผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น น้ำมะเขือเทศ ซอสมะเขือเทศ เป็นต้น การผลิตมะเขือเทศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการผลิตที่มีพื้นที่มากที่สุด ประมาณ 39,000 ไร่ และผลผลิตรวม ประมาณ 137,325 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) นอกจากการผลิตเพื่อบริโภคสดและอุตสาหกรรมแล้ว การผลิตเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ก็มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงเช่นกัน โดยมีมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ ในปี 2565 มีมูลค่าสูงถึง 1,408,392,866.94 บาท (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2566) มีพื้นที่การผลิตมะเขือเทศส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ จังหวัดนครพนม หนองคาย นครราชสีมา สกลนคร มุกดาหาร อุบลราชธานี และศรีสะเกษ ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดตาก เชียงใหม่พะเยา เชียงราย เพชรบูรณ์ แม่ฮ่องสอน และลำปาง ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัด สระบุรี และนครปฐม และภาคตะวันตก ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี และกาญจนบุรี เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562)

อย่างไรก็ตาม พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศมักประสบปัญหาของโรคระบาด โดยเฉพาะในฤดูฝนการระบาดของโรคที่มักพบ ได้แก่ โรคจากสาเหตุไวรัส (Virus disease) โรคเหี่ยวเหี่ยว (Bacterial wilt disease) โรคเหี่ยวเหลือง (Fusarium wilt disease) โรคใบจุด (Leaf spot) และโรคใบไหม้ (Leaf blight) เป็นต้น ดังนั้นการเลือกใช้พันธุ์ที่มีความต้านทานโรค หรือมีความทนทานต่อการเข้าทำลายของโรคต่าง ๆ สามารถทำให้ผลผลิตไม่เสียหายและเป็นการลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากลดการใช้สารเคมี ดังนั้นการที่จะได้มะเขือเทศที่มีผลผลิตเพียงพอต่อความต้องการของตลาดการปรับปรุงพันธุ์เพื่อต้านทานโรคเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะโรคเหี่ยวเหี่ยว จากเชื้อสาเหตุ *Ralstonia solanacearum* โรคเหี่ยวเหลือง เกิดจากเชื้อสาเหตุ *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (FOL) โรคเหี่ยวจากเชื้อรา (Sclerotium wilt หรือ Southern blight) เกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* และไวรัสใบหงิกเหลือง (Tomato leaf curl virus disease; TYLCD) การได้มาซึ่งเชื้อพันธุกรรมและวิธีการปรับปรุงพันธุ์เป็นปัจจัยที่จะส่งผลต่อความสำเร็จ โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับนักปรับปรุงพันธุ์พืช

จากข้อมูลการปรับปรุงพันธุ์มะเขือเทศ พบว่า นักปรับปรุงพันธุ์มีความพยายามในการพัฒนาพันธุ์ใหม่ ๆ ด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน และด้วยความซับซ้อนของพันธุกรรมระหว่างเชื้อสาเหตุเกิดโรคทำให้ยังไม่ค่อยมีพันธุ์มะเขือเทศที่มีความต้านทานที่หลากหลาย เช่น ลักษณะความต้านทานของมะเขือเทศต่อโรคเหี่ยวเหี่ยวมีการควบคุมในลักษณะ Polygenic ซึ่งมีตำแหน่งของยีนควบคุมหลักบนโครโมโซมที่ 6 และมีตำแหน่งอื่น ๆ บนจีโนมทั้งหมดของมะเขือเทศและปัจจุบันมีรายงานในพันธุ์ต้านทานสามารถพบตำแหน่งของยีนต้านทานบนโครโมโซมทุกโครโมโซมยกเว้นโครโมโซมที่ 1 ซึ่งพันธุ์ที่มีรายงานความต้านทานได้ดีและมีความคงตัวมากที่สุด คือ HAWAII7996 และยังไม่มียีนต้านทานอื่นที่มีลักษณะความต้านทานดังกล่าว (Danesh and Young, 1994; Deberdt et al., 1999; Mangin et al., 1999; Carmeille et al., 2006; Miao et al., 2007) การแสดงออกของยีน พบว่า มีการแสดงออกด้วยยีนเด่นในหลายรูปแบบ เช่น ควบคุมด้วยยีนเด่นแบบข่มข้ามคู่แบบบวกหรือข่มไม่สมบูรณ์ (Scott et al., 1993) สำหรับลักษณะความต้านทานต่อโรคเหี่ยวเหี่ยวมักจะได้รับการถ่ายยีนจากลักษณะของพันธุ์ทำให้ผลผลิตของพันธุ์ใหม่มีปริมาณค่อนข้างต่ำ เช่นเดียวกับมะเขือเทศพันธุ์ต้านทาน Sclerotium wilt หรือ Southern blight (Huang and Lindhout, 1997; Langlois, 2017) รวมทั้งมะเขือเทศต้านทานโรคไวรัสใบหงิกเหี่ยวมียีนต้านทาน 6 ยีน (Moiones and Navas-Catillo, 2000) แต่มียีนต้านทานที่มีศักยภาพเพียง 2-3 ยีน คือ Ty-2, Ty-3 และ Ty-5 (บุญส่ง และกรุง, 2557; พัชราภรณ์ และคณะ, 2561) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความซับซ้อนของลักษณะความต้านทานทำให้ยากแก่การพัฒนาพันธุ์ใหม่ ๆ ขึ้น แต่ด้วยเทคนิคการรวมยีนความต้านทาน (Gene pool) เป็นวิธีการที่สามารถยกระดับการต้านทานโรคโดยรวมของมะเขือเทศได้ ซึ่งจะทำให้มีผลผลิตและคุณภาพที่ดีขึ้นพันธุ์มะเขือเทศที่ผ่านการรวมยีนที่แตกต่างกันสามารถที่จะให้ผลผลิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการตอบสนองของยีนต่าง ๆ กับสภาพแวดล้อม (Vidavski et al., 2008) แต่อย่างไรก็ตามการรวมยีนต่าง ๆ เข้าด้วยกันจำนวนมากอาจส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพมีลักษณะ Linkage ที่ไม่ดีกับลักษณะทางการเกษตร การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของสายพันธุ์มะเขือเทศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ผ่านการรวมยีนต้านทานโรคและมีประวัติพันธุ์รายงานความสามารถในการต้านทานโรคในสภาพแปลงแตกต่างกัน (บุญส่ง และกรุง, 2557; ชีवाल และคณะ, 2559; กวิน และคณะ, 2561; พัชราภรณ์ และคณะ, 2561) ต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพในสภาพการปลูกในโรงเรือน ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์มะเขือเทศสำหรับการเผยแพร่ในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

พันธุ์มะเขือเทศ

ประเมินพันธุ์มะเขือเทศ ทั้งหมดจำนวน 23 พันธุ์/สายพันธุ์ โดยได้รับอนุเคราะห์จากมหาวิทยาลัยขอนแก่นและบริษัท Campbell Seed, USA. ซึ่งมีประวัติพันธุ์ในการรวมยีนต้านทานโรค และกำหนดให้มะเขือเทศพันธุ์ HAWAII 7996, R3034-3-10-N-UG, Ty52 และ CXD227 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีรายงานความต้านทานโรคได้ดีในสภาพแปลงทดลอง (ชีवाल และคณะ, 2559) (ตารางที่ 1)

การปลูกและการจัดการมะเขือเทศ

เพาะกล้ามะเขือเทศในถาดหลุมขนาด 104 หลุม ที่มีวัสดุปลูก (Peat moss) รดน้ำทุกวันในช่วงเช้า และเมื่อต้นกล้าอายุได้ 2 สัปดาห์ ดูแลโดยพ่นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช (อิมิดาโคลพริด) และรดด้วยปุ๋ยเกล็ดละลายน้ำ สูตร 25:5:5 (อัตราส่วน 200 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร) 2 วันต่อ 1 ครั้ง และย้ายปลูกในถาดขนาด 8x16 นิ้ว ในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของดิน แกลบดิบ และแกลบเผา อัตรา 1:1:2 แบบแถวคู่ ระยะปลูกระหว่างต้น 25x25 เซนติเมตร ทางเดินระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ในโรงเรือนมุงพลาสติก และล้อมด้วยตาข่าย

การจัดการน้ำและปุ๋ย

ให้น้ำแบบระบบน้ำหยด ทุกวันช่วงเช้า (15 นาที) และใส่ปุ๋ยเกล็ด สูตร 25:5:5 (อัตราส่วน 200 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร) 2 วันต่อ 1 ครั้ง เมื่อมะเขือเทศเริ่มมีดอก เปลี่ยนใช้ปุ๋ย สูตร 15:15:15 จนเก็บผลผลิต โดยให้สารละลายปุ๋ย 100 มิลลิลิตรต่อต้น

การจัดการต้นมะเขือเทศ

เมื่อมะเขือเทศออกดอกข้อแรกให้ทำการตัดแต่งกิ่งของมะเขือเทศโดยเด็ดตาข้างใต้ดอกข้อแรกออกให้หมด ซึ่งจะมีการตัดแต่งแตกต่างกันตามการเจริญเติบโต คือ การเจริญเติบโตแบบพุ่ม และการเจริญเติบโตแบบเลื้อย จากนั้นทำค้างมะเขือเทศ

โดยใช้ลวดซึ่งเป็นแนวยาวตามแถวปลูกด้านบนและใช้เชือกมัดต้นให้ซิงกับค้ำที่ทำด้วยลวดด้านบน ต้นมะเขือเทศที่ทำการทดลองมีการใช้สารเคมี (อิมิตาคลอพริด) และการพ่นสารสกัดน้ำส้มควันไม้สลับกันตามความจำเป็น 2-3 สัปดาห์ต่อครั้ง

การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design; RCBD) จำนวน 23 พันธุ์/สายพันธุ์ (Treatment) ปลูก 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2565 โรงเรียนทดลอง สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม และเก็บข้อมูลผลผลิตและคุณภาพที่สำคัญ ดังนี้ 1) ลักษณะผลผลิต ได้แก่ ผลผลิตต่อต้น (กรัม) และจำนวนผลต่อต้น (ผล) 2) ลักษณะทางคุณภาพผล ได้แก่ จำนวนเมล็ดต่อผล (เมล็ด) สุ่มนับจำนวน 3 ผลต่อต้น และเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid; TSS; องศาบริกซ์) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรม Statistix 10 และเปรียบเทียบสัดส่วนผลผลิต:จำนวนผล (ผลผลิตต่อต้น/จำนวนผลต่อต้น)

ผลการวิจัย

จากการประเมินมะเขือเทศที่มีถิ่นความต้านทานโรคแตกต่างกัน จำนวน 19 สายพันธุ์ ร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ 4 พันธุ์ พบว่า ลักษณะผลผลิตที่ทำการประเมินมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (ตารางที่ 2) มะเขือเทศพันธุ์ที่ทดสอบมีค่าเฉลี่ยผลผลิตทั้งหมดที่ 1,393.5 กรัมต่อต้น ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มมะเขือเทศจากผลผลิตได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ให้ผลผลิตมากกว่า 2,000 กรัมต่อต้น กลุ่มที่ให้ผลผลิต 1,000-2,000 กรัมต่อต้น และกลุ่มที่ให้ผลผลิตต่ำกว่า 1,000 กรัมต่อต้น จำนวน 2, 16 และ 5 พันธุ์ ตามลำดับ และพบว่า มะเขือเทศพันธุ์เปรียบเทียบ 3 พันธุ์ มีผลผลิตจัดอยู่ในกลุ่มที่ต่ำกว่า 1,000 กรัมต่อต้น เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ โดยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุด คือ CLN2777-168-27-2-7-8-8 มีผลผลิตเฉลี่ย 2,253.7 กรัมต่อต้น รองลงมาคือ พันธุ์ KCU-T47-1 (2,157.6 ต่อต้น) และมีมะเขือเทศ กลุ่ม 2 ที่มีผลผลิตเฉลี่ยมากกว่า 1,900 ต่อต้น จำนวน 2 พันธุ์ คือ KCU-T47-5 และ KCU-T47-10 (1,969.1 และ 1,966.7 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามมะเขือเทศในกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ มีจำนวน 9 พันธุ์ (มีผลผลิตเฉลี่ยระหว่าง 1,200-1,700 กรัมต่อต้น) ได้แก่ TML46-N-12-N-early-NT, CLN2777-168-27-2-8-21-26, CLN3241F1-34-28-2-20-5-28-27, CLN3150A-5, CLN3078F1-12-34-27-9-4-10-19-14, F₂BC₁ (CLN2498D x Hawaii7996), CLN3087F1-12-34-29-7-8-5-0, CLN3212A-25 และ CLN3070F1-8-7-27-29-25-24-0 (1,290.3, 1,361.3, 1,363.3, 1,394.3, 1,451.2, 1,513.7, 1,615.7, 1,634.2, 1,709.0 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) และลักษณะจำนวนผลต่อต้น พบว่า มีค่าเฉลี่ยผลต่อต้นที่ 33.5 ผล โดยพันธุ์ที่มีจำนวนผลมากที่สุด คือ พันธุ์ TML46-N-12-N-early-NT (67.3 ผล) รองลงมา คือ พันธุ์ CLN2768-69-23-30-30-27-9 (53.5 ผล) และ KCU-T47-10 (50.7 ผล) ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักผลและจำนวนผล พบว่า สามารถจัดกลุ่มได้ 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มระหว่าง 52-74 และ 2) กลุ่มที่มีสัดส่วนน้ำหนักผล ระหว่าง 18-49 (ตารางที่ 2)

สำหรับลักษณะคุณภาพของมะเขือเทศ พบว่า มีค่าความหวานใกล้เคียงกัน โดยมีค่า TSS มีค่าเฉลี่ย 5.3 องศาบริกซ์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบพันธุ์ที่มีค่าความหวานสูงสุด คือ KCU-T45-4 (6.7) รองลงมา คือ พันธุ์ Ty52 (6.4) และโดยส่วนมากมะเขือเทศที่ทำการประเมินมีค่าความหวานอยู่ในช่วง 4.4-5.3 องศาบริกซ์ สำหรับลักษณะจำนวนเมล็ด พบว่า พันธุ์เปรียบเทียบมีเมล็ดอยู่ในช่วง 37.2-67.6 เมล็ดต่อผล และมีมะเขือเทศที่มีจำนวนเมล็ดอยู่ในช่วงดังกล่าว 6 พันธุ์ สำหรับพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบและสูงกว่า 100 เมล็ด คือ KCU-T47-10, CLN2777-168-27-2-7-8-8, KCU-T47-1, KCU-T47-5, CLN3087F1-12-34-29-7-8-5-0 และ TML46-N-12-N-early-NT ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ประวัติและแหล่งของยีนที่มีรายงานความต้านทานโรค จำนวน 23 พันธุ์/สายพันธุ์

พันธุ์/สายพันธุ์	ยีนต้านทาน ^{1/}	แหล่งที่มา ^{6/}
KKU-T45-1	Bw-6, Bw -12	KKU
KKU-T45-4	Bw-6, Bw -12	KKU
KKU-T47-1	Bw-6, Bw -12	KKU
KKU-T47-5	Bw-6, Bw -12	KKU
KKU-T47-10	Bw-6, Bw -12	KKU
CLN3150A-5	Ty-2+ty-5	AVRDC
CLN3212A-25	Ty-5	AVRDC
CLN3070F1-8-7-27-29-25-24-0	Ty-2+Ty-3	AVRDC
CLN3078F1-12-34-27-9-4-10-19-14	Ty-2+Ty-3	AVRDC
CLN3087F1-12-34-29-7-8-5-0	Ty-2+Ty-3	AVRDC
C22	Bw, Ty	KKU
F ₂ BC ₁ (CLN2498D x Hawaii7996)	Bw, Ty	KKU
KKU40	Bw, Ty	KKU
CLN2366B	TMV, Bw, F-1	AVRDC
CLN2768-69-23-30-30-27-9	Ty, Bw, F-1, TMV	AVRDC
CLN2777-168-27-2-7-8-8	Ty, Bw, F-1, TMV	AVRDC
CLN2777-168-27-2-8-21-26	Ty, Bw, F-1, TMV	AVRDC
CLN3241F1-34-28-2-20-5-28-27	Ty-2+Ty-3+Ph-2+Ph-3+I-2	AVRDC
TML46-N-12-N-early-NT	Bw, LSL	AVRDC
HAWAII 7996 ^{2/}	Bw-6, Bw-12	AVRDC
R3034-3-10-N-UG ^{3/}	Bw	AVRDC
Ty52 ^{4/}	Ty-2+ty-5	AVRDC
CXD227 ^{5/}	Stress tolerance	USA

หมายเหตุ: ^{1/}BW = Bacterial wilt, Ty = Tomato yellow leaf curl virus., LSL = Long shelf life, F-1= Fusarium wilt race 1, TMV = Tomato mosaic virus, ^{2/-4} Resistant check varieties, ^{5/} พันธุ์การค้า; Campbell Soup Seed Company, United States of America, ^{6/} KKU = มหาวิทยาลัยขอนแก่น, AVRDC = The World Vegetable center

ตารางที่ 2 ผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศที่มีรายงานความต้านทานโรค จำนวน 23 พันธุ์/สายพันธุ์

พันธุ์	ผลผลิต (กรัมต่อ ต้น)	จำนวนผลต่อ ต้น	สัดส่วน ผลผลิต: จำนวนผล	TSS (องศา ริคซ์)	เมล็ดต่อ ผล
KKU-T45-1	1,101.7 ^{i-k}	27.7 ^{f-i}	40	5.5	59.1 ^{e-g}
KKU-T45-4	1,082.0 ^{jk}	20.3 ^{hi}	53	5.2	70.7 ^{c-e}
KKU-T47-1	2,157.0 ^{ab}	40.7 ^{b-e}	53	6.7	106.1 ^{ab}
KKU-T47-5	1,969.1 ^{bc}	49.7 ^{bc}	40	4.9	102.4 ^b
KKU-T47-10	1,966.7 ^{bc}	50.7 ^b	39	5.2	116.3 ^a
CLN3150A-5	1,394.3 ^{e-h}	27.0 ^{f-i}	48	5	79.4 ^{cd}
CLN3212A-25	1,634.2 ^{de}	29.3 ^{e-i}	56	4.9	59.8 ^{ef}
CLN3070F1-8-7-27-29-25-24-0	1,709.0 ^{cd}	26.3 ^{g-i}	65	5.6	64.7 ^{ef}
CLN3078F1-12-34-27-9-4-10-19-14	1,451.2 ^{d-g}	27.7 ^{f-i}	52	4.6	58.2 ^{e-g}
CLN3087F1-12-34-29-7-8-5-0	1,615.7 ^{d-f}	27.7 ^{f-i}	58	5.1	111.8 ^{ab}
C22	1,041.8 ^{jk}	31.7 ^{d-h}	33	5	36.3 ^{ij}
F ₂ BC ₁ (CLN2498D x Hawaii7996)	1,513.7 ^{d-g}	31.0 ^{d-h}	49	5.5	61.8 ^{ef}
KKU40	946.7 ^{kl}	25.3 ^{hi}	37	4.7	24.3 ^{jk}
CLN2366B	1,016.5 ^{j-l}	28.5 ^{e-i}	36	4.9	21.0 ^k
CLN2768-69-23-30-30-27-9	972.0 ^{kl}	53.5 ^b	18	5.8	23.7 ^{jk}
CLN2777-168-27-2-7-8-8	2,253.7 ^a	37.0 ^{d-g}	61	5.4	113.8 ^{ab}
CLN2777-168-27-2-8-21-26	1,361.3 ^{f-i}	21.7 ^{hi}	63	4.4	51.2 ^{f-h}
CLN3241F1-34-28-2-20-5-28-27	1,363.3 ^{f-i}	18.3 ⁱ	74	5	82.3 ^c
TML46-N-12-N-early-NT	1,290.3 ^{g-j}	67.3 ^a	19	5.7	101.1 ^b
HAWAII 7996	1,154.0 ^{h-k}	43.0 ^{b-d}	27	5.2	37.2 ^{h-j}
R3034-3-10-N-UG	728.0 ^l	39.0 ^{c-f}	19	5.6	67.6 ^{de}
Ty52	989.7 ^{kl}	26.7 ^{g-i}	37	6.4	58.0 ^{e-g}
CXD227	912.0 ^{kl}	24.0 ^{hi}	38	5.6	46.5 ^{g-i}
Mean	1,393.50	33.5		5.3	70
F-test	**	**		ns	**
C.V. (%)	11.53	20.88		10.26	11.53

หมายเหตุ: ns =not significant, ** = Significant at p≤0.01

การอภิปรายผล

จากการปลูกทดสอบมะเขือเทศทั้งหมด ซึ่งเป็นมะเขือเทศกลุ่มของมะเขือเทศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (Processing tomato) จำนวน 19 พันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบ 4 พันธุ์ พบว่า มะเขือเทศทุกสายพันธุ์มีระดับความต้านทานโรคในสภาพโรงเรือนได้ดี เนื่องจากการปลูกในสภาพโรงเรือนมีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ทำให้มีการระบาดของโรคและแมลงค่อนข้างน้อย อีกทั้งมะเขือเทศที่ทำการทดสอบมีการรวมยีนต้านทาน (Gene pool) ทำให้มีศักยภาพในการให้ผลผลิตที่ดี (บุญส่ง และกรุง, 2557; ชัชวาล, 2558; ชัชวาล และคณะ, 2559) ซึ่งจากการทดสอบสามารถจัดกลุ่มของมะเขือเทศจากผลผลิตที่แตกต่างกันได้จำนวน 3 กลุ่ม คือ มีผลผลิตเฉลี่ยมากกว่า 1,500 กรัมต่อต้น 1,000-1,500 กรัมต่อต้น และให้ผลผลิตต่ำกว่า 1,000 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มพันธุ์ที่ทดสอบให้ผลผลิตเฉลี่ยที่สูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งหมด ซึ่งพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงจะมีฐานพันธุกรรมของยีนความต้านทานโรคที่สำคัญมากกว่า 1 ยีน ได้แก่

ยีนต้านทาน Bacterial wilt, Tomato yellow leaf curl virus, F-1 = Fusarium wilt race 1 และ Tomato mosaic virus แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า มะเขือเทศพันธุ์ KKKU40 (Bw, Ty), CLN2768-69-23-30-30-27-9 (Ty, Bw, F-1, TMV), CLN2366B (TMV, Bw, F-1), C22 (Bw, Ty), KKKU-T45-4 (Bw-6, Bw-12) และ KKKU-T45-1 (Bw-6, Bw-12) มีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 900-1,000 กรัมต่อต้น ซึ่งเป็นผลผลิตที่อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้พันธุ์ดังกล่าวอาจเกิดจากการรวมยีนความต้านทานโรคจำนวนมากทำให้การเข้าคู่กันของยีนมีผลต่อการให้ผลผลิต ซึ่งลักษณะความต้านทานโรคส่วนมากมักจะเชื่อมโยงกับลักษณะที่ไม่ดี (Linkage gene) อาจทำให้ผลผลิตและคุณภาพไม่เหมาะสม โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีระดับความต้านทานของโรคเหี่ยวเฉาในระดับที่สูงจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของผล ซึ่งจะทำให้ขนาดผลเล็กลง (ชัชวาล, 2558) ในลักษณะ TSS อยู่ระหว่าง 4-6 องศาบริกซ์ เป็นค่าที่เหมาะสมและเป็นคุณลักษณะของมะเขือเทศสำหรับอุตสาหกรรม และพันธุ์ที่ทำการทดสอบมีฐานพันธุกรรมส่วนหนึ่งมาจากมะเขือเทศสำหรับอุตสาหกรรม (ชัชวาล, 2558) นอกจากนี้ยังพบว่า พันธุ์ที่ให้ผลผลิตที่สูงมีจำนวนเมล็ดต่อผลค่อนข้างสูง คือ จำนวนเมล็ดเฉลี่ยมากกว่า 100 เมล็ดต่อผล โดยพันธุ์ที่ให้จำนวนเมล็ดต่อผลจำนวนมาก (KKU-T47-10, CLN2777-168-27-2-7-8-8, KKKU-T47-1, KKKU-T47-5, CLN3087F1-12-34-29-7-8-5-0 และ TML46-N-12-N-early-NT) สามารถคัดเลือกพันธุ์ดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรมปรับปรุงพันธุ์ เนื่องจากสามารถผลิตเมล็ดพันธุ์ได้จำนวนมาก

แต่อย่างไรก็ตามในการปลูกมะเขือเทศในสภาพโรงเรือน พันธุ์มะเขือเทศจำเป็นต้องมีพื้นฐานของยีนที่ต้านทานต่อโรคไวรัส TYLCD เนื่องจากมักจะพบการระบาดของไวรัสค่อนข้างสูงในการผลิตในโรงเรือน เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมของแมลงห้ำหิวพาหะของโรค ซึ่งจากพันธุ์ที่ทำการทดสอบของงานทดลองนี้ พบว่า พันธุ์มะเขือเทศที่มียีน Ty, Ty-2+Ty-3 และ Ty-5 ให้ผลผลิตที่ค่อนข้างสูงมีความทนทานและต้านทานต่อการเกิดโรคได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินมะเขือเทศพันธุ์ต้านทาน TYLCD ของ กวิน และคณะ (2561) โดยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูงพบยีนต้านทาน Ty2 Ty3 Ty3a ty5 (Scott, and Hutton, 2015) และสอดคล้องกับ บุญส่ง และกรุง (2557) และชัชวาล และคณะ (2559) และพันธุ์ที่มียีน Ty3 จะสามารถต้านทานโรค TYLCD สายพันธุ์ไทยได้ดี (พัชรพรณ์ และคณะ, 2561) ดังนั้นมะเขือเทศพันธุ์ที่ผ่านการประเมินลักษณะผลผลิตและคุณภาพจากการทดลองนี้สามารถใช้เป็นแหล่งของเชื้อพันธุกรรมต้านทานหรือคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะทางเศรษฐกิจที่ดีต่อไปอนาคต (ปราโมทย์ และคณะ, 2563)

บทสรุป

จากการประเมินผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศสายพันธุ์ต้านทานโรคในสภาพโรงเรือน พบว่า พันธุ์ CLN2777-168-27-2-7-8-8 และ KKKU-T47-1 มีผลผลิตเฉลี่ยมากกว่า 2,000 กรัมต่อต้น ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาให้เป็นพันธุ์มะเขือเทศที่ลักษณะทางพืชสวนที่ดีต่อไป นอกจากนี้การรวมยีนลักษณะความต้านทานโรคในมะเขือเทศจะสามารถเพิ่มระดับความต้านทานในสภาพแปลง และให้ผลผลิตที่ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน ในการสนับสนุนเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศสำหรับการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). มะเขือเทศ. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2566.

<http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2562/47-48.pdf>.

กวิน กุมปฐ, สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร และชานนท์ ลากิจธร. (2561). การประเมินสายพันธุ์มะเขือเทศที่มีประสิทธิภาพการให้ผลผลิตและความต้านทานต่อ โรคไวรัสใบหงิกเหลืองมะเขือเทศในสภาพแปลงปลูกที่จังหวัดขอนแก่น. วารสารแก่นเกษตร. 10(พิเศษ)(1): 10-17.

- ซัซวาล แสงฤทธิ์. (2558). ความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของความต้านทานโรคเหี่ยวเหี่ยว. ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ซัซวาล แสงฤทธิ์, ญาณิศา แสงสอดแก้ว, Tsai W.S. และสุชีลา เตชะวงศ์เสถียร. (2559). การประเมินพันธุ์มะเขือเทศต้านทานต่อโรคไวรัสใบหงิกเหลือง. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 3(พิเศษ)(3): 66-72.
- บุญส่ง เอกพงษ์ และกรัง สีตะธนี. (2557). การประเมินพันธุ์มะเขือเทศต้านทานโรคใบหงิกเหลืองมะเขือเทศในสภาพแปลงปลูกในจังหวัดอุบลราชธานี. วารสารแก่นเกษตร. 42(พิเศษ)(3): 718-724.
- ปราโมทย์ พรสุริยา, ประพจน์ พรหมสมบูรณ์ และหนูจันทร์ ศิริสุวรรณ. (2563). การประเมินสายพันธุ์ข้าวโพดเทียนที่คัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมือง. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. 3(1): 22-32.
- พัชรภรณ์ สุวอ, มณีนี อีธารักษ์, ธวัชชัย มยศิริยานันท์, นครินทร์ จั๊าทิตย์ และสุชีลา เตชะวงศ์เสถียร. (2561). การประเมินพันธุ์มะเขือเทศรับประทานสดผลเล็กต้านทานโรคไวรัสใบหงิกเหลืองสายพันธุ์ไทย (TYLCTHV) และตรวจสอบยีนต้านทาน Ty-2 และ Ty-3 ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล. วารสารแก่นเกษตร. 46(5): 965-974.
- สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร. (2562.) การจัดการเชื้อพันธุกรรม และการพัฒนาพันธุ์มะเขือเทศ. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2566. <http://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2019/20191003-germplasm-management-and-breeding-tomatoes-v4.pdf>.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). มะเขือเทศ: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ พันธุ์โรงงานและบริโภค ปี 2564. ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2566. <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/>.
- สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. (2566.) ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์ควบคุม. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2566. <http://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2023/07/>.
- Carmeille A., Caranta C., Dintinger J., Pror P., Luiesetti J. and Baesse P. (2006). Identification of QTLs for *Ralstonia solanacearum* race 3-phylo-type II resistance in tomato. Theory Application Genetics. 113(1): 110-121.
- Danesh D. and Young N.D. (1994). Partial resistance loci for tomato bacterial wilt show differential race specificity. Tomato Genetics Cooperative Report. 44(2): 12-13.
- Deberdt P., Oliveier J., Thoquet P., Queneheve P. and Prior P. (1999). Evaluation of bacterial wilt resistance in tomato lines nearly isogenic for the *Mi* gene for resistance to root-knot. Plant pathology. 48(3): 415-424.
- FAOSTAT. (2023.) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Data from 2020. Accessed 20 Aug. 2023. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Hong Hai T.T., Esch E. and Wang J.-F. (2008). Resistance to Taiwanese race1 strains of *Ralstonia solanacearum* in wild tomato germplasm. Europe Journal Plant Pathology. 122(4): 471-479.
- Huang C.C. and Lindhout P. (1997). Screening for resistance in wild *Lycopersicon* species to *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* race 1 and 2. Euphytica. 93(3): 145-153.
- Langlois R.W. (2017). Evaluation of rootstocks for grafted plants as a strategy to manage Southern Blight in tomato (*Solanum lycopersicum*). The thesis of Master of Science. Auburn University. United States of America.
- Mangin B., Thoquet P., Olivier J. and Grimsley N.H. (1999). Temporal and Multiple Quantitative Trait Loci Analyses of Resistance to bacterial Wilt in Tomato permit the Resolution of Linked loci. Genetics. 151(3): 1165-1172.
- Mioa L., Shou S., Cai J., Jiang F. and Zhu Z. (2007). Identification of two AFLP markers linked to bacterial wilt resistance in tomato and conversion to SCAR marker. Molecular biology Report. 39(3): 479-489.
- Moiones E. and Navas-Catillo J. (2000). Tomato yellow leaf curl virus, an emerging virus complex causing epidemics worldwide. Virus Resistance. 71(1-2): 123-134.

Scott J.W. and Hutton S.F. (2015). Fla. 8638B and Fla. 8624 tomato breeding lines with Begomovirus resistance genes ty-5 plus Ty-6 and Ty-6, respectively. HortScience. 50(9): 1405-1407.

Scott J.W., Somodi G.C. and Jonoas J.B. (1993). Testing tomato genotypes and breeding for resistance to bacterial wilt in Florida. In ACIAR Proceeding 28-31 October 1992. Kaohsiung. Taiwan. 126-131.

Vidavski F., Czosnek H., Gazit S., Levy D. and Lapidot M. (2008). Pyramiding of genes conferring resistance to tomato yellow leaf curl virus from different wild tomato species. Plant Breeding 127(6): 625-631.

Received: June 14, 2023; Revised: October 23, 2023; Accepted: November 29, 2023

การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจหาเชื้อ ไมโคแบคทีเรีย ทูเบอร์คิวโลซิส
(*M. tuberculosis*) จากเสมหะด้วยวิธีการตรวจ Acid-Fast Bacillus (AFB)
The development of artificial intelligence system to detect
Mycobacterium tuberculosis (*M. tuberculosis*) from sputum
with Acid-Fast Bacillus (AFB) method

ปณณธร ขุนโหร^{1*}, ปรีภา พวงทอง¹, วิเชียร ดอนราม¹ และธณธรพ์ แสงภู²
Punnathorn Khunhon^{1*}, Peraga Puangtong¹, Vichien Donram¹ and Thanthun Sangphoo²

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัยชลบุรี จังหวัดชลบุรี

¹Princess Chulabhorn Science High School Chonburi, Chonburi Province

²โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ระยอง จังหวัดระยอง

²Rayong Hospital in HRH Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn, Rayong Province

*Corresponding Author E-mail Address : khpunnathorn@gmail.com

บทคัดย่อ

วัณโรคปอดเป็นโรคติดต่อทางเดินหายใจชนิดหนึ่ง เกิดจากการติดเชื้อไมโคแบคทีเรีย ทูเบอร์คิวโลซิส (*Mycobacterium tuberculosis*) ซึ่งในประเทศไทยนิยมตรวจวัณโรคด้วยวิธีการตรวจเสมหะ Acid-Fast Bacillus (AFB) เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่ต่ำ ทว่าในการตรวจหาเชื้อวัณโรคสำหรับแพทย์นั้นมียะเวลานาน การวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจหาเชื้อวัณโรคเพื่อสนับสนุนแพทย์ โดยในขั้นตอนการพัฒนา ผู้วิจัยได้เริ่มจากการรวบรวมภาพเสมหะจาก Kaggle และ ZNSM-iDB รวมทั้งสิ้น 1,952 ภาพ นำภาพเหล่านั้นไปทำความสะอาดและปรับแต่งภาพ โดยการกลับภาพ หมุนภาพ ปรับความสว่าง ความคมชัด และค่าสีของภาพเพื่อเพิ่มชุดจำนวนข้อมูลภาพ และฉลากเชื้อวัณโรคภายในทุกภาพเพื่อนำไปเทรนโมเดลทั้งหมด 8 โมเดล ประกอบด้วย YOLOv5n, YOLOv5s, YOLO5m, YOLO5l, YOLO5n6, YOLO5s6, YOLO5m6 และ YOLO5l6 จากนั้นจึงนำแต่ละโมเดลที่เทรนไปประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อหาโมเดลที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจหาเชื้อวัณโรค ซึ่งจากผลการพัฒนาพบว่า ในการตรวจภาพเบื้องต้นซึ่งคัดกรองภาพเสมหะว่ามีเชื้อวัณโรคหรือไม่ โมเดล YOLOv5s มีประสิทธิภาพมากที่สุดซึ่งให้ค่าความไว ความจำเพาะ F1-score และระยะเวลาเฉลี่ยในการตรวจจับเชื้อต่อ 1 ภาพ คือ 0.9802, 0.9647, 0.9727 และ 11.1 มิลลิวินาที ตามลำดับ และในขั้นตอนการตรวจจับวัตถุซึ่งระบุตำแหน่งของเชื้อวัณโรคทั้งหมดภายในภาพ โมเดล YOLOv5n6 มีความแม่นยำที่สุดซึ่งมีค่า Precision, Recall และ mAP@0.5 อยู่ที่ 0.673, 0.761 และ 0.727 ตามลำดับ โดยสรุปแล้วระบบปัญญาประดิษฐ์นี้สามารถตรวจหาเชื้อวัณโรคได้อย่างอัตโนมัติด้วยความแม่นยำที่สูง และใช้เวลาที่รวดเร็วในการตรวจ

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์ ไมโคแบคทีเรีย ทูเบอร์คิวโลซิส Acid-Fast Bacillus โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

Pulmonary tuberculosis is an infectious disease that still has outbreaks in Thailand (Department of Disease Control, 2021), caused by a bacterium called *Mycobacterium tuberculosis*, often known as MTB. In Thailand, the AFB sputum smear test is commonly used to diagnose tuberculosis. It is reliable and affordable, however the physician inspection process is time-consuming. So, we created an AI to automatically inspect the sputum smear to support the physician's inspection procedure in which we started by collecting sputum images from Kaggle and ZNSM-iDB, and processed them through data cleaning and augmentation process. Then, we developed the program for supporting all of the AI, coupled with the Yolov5 module to train, evaluate, and finally compare the performances of the different CNN models used in Yolov5's image processing process. As a result, the system is able to learn from the image dataset, which in preliminary examination, which classifies between positive and negative sputum sample, the most effective model, Yolov5s, was able to detect the MTBs with the sensitivity, specificity, F1-score, and mean detection time per image of 0.9802, 0.9647, 0.9727 and 11.1 milliseconds, respectively, and in the object detection task in which locates every TB in the sample, the most efficient model, Yolov5n6, was able to detect objects and classify the types of MTB with the precision, recall, mAP of 0.673, 0.761, 0.727 respectively. Once the model is exported, the CNN image processing model is trained and ready to be used in further experiments or further development into various innovations. To conclude, the model is able to inspect the MTBs automatically with a high accuracy and fast detection time. However, model image predictions in some images are still wrong, possibly because of the different staining characteristics in each picture, causing the system to misinterpret.

Keywords: Artificial intelligence, *Mycobacterium tuberculosis*, Acid-Fast Bacillus, Convolutional neural network

บทนำ

วัณโรคปอด เป็นโรคติดต่อซึ่งแพร่เชื้อผ่านทางอากาศ เกิดจากการติดเชื้อภายในปอดจากแบคทีเรียที่ชื่อไมโคแบคทีเรียทูเบอร์คูโลซิส (*M. tuberculosis*) ส่งผลให้ผู้ติดเชื้อมีอาการไอเรื้อรัง ไอเป็นเลือด เจ็บหน้าอก รู้สึกเจ็บเวลาหายใจหรือไออ่อนเพลีย และอาการอื่น ๆ อันเป็นอันตรายต่อชีวิต โดยอ้างอิงจากสถิติในปี พ.ศ. 2560 มีผู้คนมากกว่า 1.6 ล้านคนเสียชีวิตจากวัณโรค ซึ่งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับที่ 2 รองลงมาจากโรค COVID-19 (World Health Organization, 2021) ดังนั้นการคัดกรองผู้ป่วยวัณโรคที่มีความรวดเร็ว แม่นยำ และมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญในการควบคุมการแพร่กระจายของวัณโรคต่อสังคมทั่วโลก

ในประเทศไทยการตรวจเชื้อวัณโรคโดยเบื้องต้นสามารถกระทำได้อยู่ 2 วิธี (กรมควบคุมโรค, 2561) ได้แก่ การทดสอบทูเบอร์คูลินผ่านผิวหนัง (Tuberculin skin test) ซึ่งไม่เป็นที่นิยม และการตรวจเสมหะ (AFB sputum smear test) ซึ่งเป็นการนำเสมหะตัวอย่างจากผู้เข้ารับการรักษาเชื้อไปย้อมสีที่มีความจำเพาะต่อเชื้อวัณโรคและนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ อย่างไรก็ตามการตรวจหาเชื้อนี้มีโอกาสที่จะไม่พบเชื้อในบริเวณหนึ่งของสไลด์ด้วยปริมาณของเชื้อในผู้ป่วยที่ต่ำ ผู้ตรวจจึงต้องค้นหาทุกบริเวณของสไลด์เพื่อยืนยันการติดเชื้อวัณโรคและส่งผลการตรวจหาเชื้อใช้เวลานาน นอกจากนี้ในการตรวจหาเชื้อด้วยวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ จึงส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนบุคลากรในการตรวจหาเชื้อ และปัญหาการตรวจหาเชื้อที่คลาดเคลื่อน ส่งผลต่อการรักษาวัณโรคได้ล่าช้าและมีความเสี่ยงต่อผู้ป่วยมากขึ้น

ด้วยเหตุนี้เองในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) จึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในขั้นตอนการป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคมากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดกรองผู้ป่วยซึ่งในการนำ AI ไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจหาเชื้อวัณโรคนั้นสามารถกระทำได้อย่างหลากหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น จากการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์

ของ Priya และ Rajinikanth ที่ได้ใช้อัลกอริทึม K-means ในการตรวจหาเชื้อวัณโรคจากค่าสี RGB ของภาพเสมหะตัวอย่าง ซึ่งให้ค่าความไวและความจำเพาะในการระบุวัณโรคอยู่ที่ 97.58% และ 55.28% ตามลำดับ จึงทำให้สรุปได้ว่าความแม่นยำของ AI นี้แปรผันตรงกับค่าสีของภาพ (Priya and Rajinikanth, 2021) จากการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ของ Serrão และคณะ ที่ใช้ Convolutional Neural Network (CNN) และหลักการเชื่อมโยงสัมพันธ์กันของภาพในการพัฒนาโมเดล AI ซึ่งให้ความแม่นยำในการตรวจหาวัณโรคโดยใช้ F1 score ถึง 99.65% ทว่าไม่ได้มีการระบุเพิ่มเติมในส่วนของความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเชื้อวัณโรคในภาพ (Serrão et al., 2020) และจากการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ของ Panicker และคณะ ที่ได้ใช้ CNN ในการตรวจจับเชื้อวัณโรคโดยมีการจำแนกลักษณะสิ่งที่พบในเสมหะเป็นเชื้อวัณโรคเดี่ยว เชื้อวัณโรคที่สัมผัสกัน และสิ่งอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เชื้อวัณโรค ซึ่ง AI ที่ถูกพัฒนาให้ค่าความแม่นยำในการตรวจหาวัณโรคโดยใช้ F1 score ถึง 86.76% (Panicker et al., 2018)

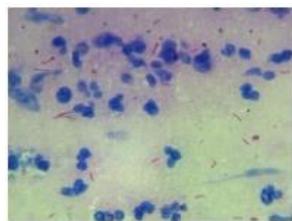
ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องมือทางการแพทย์เพื่อมาทำหน้าที่แทนผู้ตรวจในการตรวจหาเชื้อวัณโรคด้วยวิธีการตรวจเสมหะชนิด AFB smear test โดยการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจหาเชื้อวัณโรคจากภาพถ่ายได้กล้องจุลทรรศน์ในการตรวจเสมหะ เพื่อให้การตรวจวัณโรคเป็นไปด้วยความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาได้เร็วยิ่งขึ้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการแพร่กระจายของวัณโรค

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

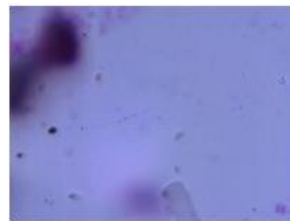
ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนก่อนการพัฒนาระบบ (Preprocess)

1.1 รวบรวมรูปภาพเสมหะจากกล้องจุลทรรศน์ในการตรวจหาเชื้อ *M. tuberculosis* จากการตรวจเสมหะด้วยวิธี AFB โดยรูปภาพที่รวบรวมมานั้นเป็นภาพถ่ายของเสมหะที่มีเชื้อ *M. tuberculosis* (ภาพที่เป็นผลบวก) ดังรูปที่ 1(ก) และภาพที่ไม่มีเชื้ออยู่ในภาพ (ภาพที่เป็นผลลบ) ดังรูปที่ 1(ข) ผสมกันอยู่ซึ่งถูกเผยแพร่ลงบนเว็บไซต์ Kaggle จำนวน 1,257 ภาพ (Uddin, n.d.) และ ZNSM-iDB จำนวน 695 ภาพ (Shah et al., n.d.) รวมทั้งสิ้น 1,952 ภาพ ซึ่งมีขนาดภาพ 1,280x1,280 พิกเซล โดยภาพทั้งหมดนั้นจะถูกนำมาทำความสะอาด (Data cleansing) เพื่อล้างข้อมูลที่ไม่พึงประสงค์ออกไปซึ่งในที่นี้คือภาพที่เป็นสีดำทั้งภาพซึ่งเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในขณะการดาวน์โหลด และภาพซ้ำในชุดข้อมูลรูปภาพ โดยหลังจากการทำ Data cleaning จะเหลือรูปภาพทั้งหมด 1,923 ภาพ



(ก) ภาพเสมหะที่เป็นผลบวก

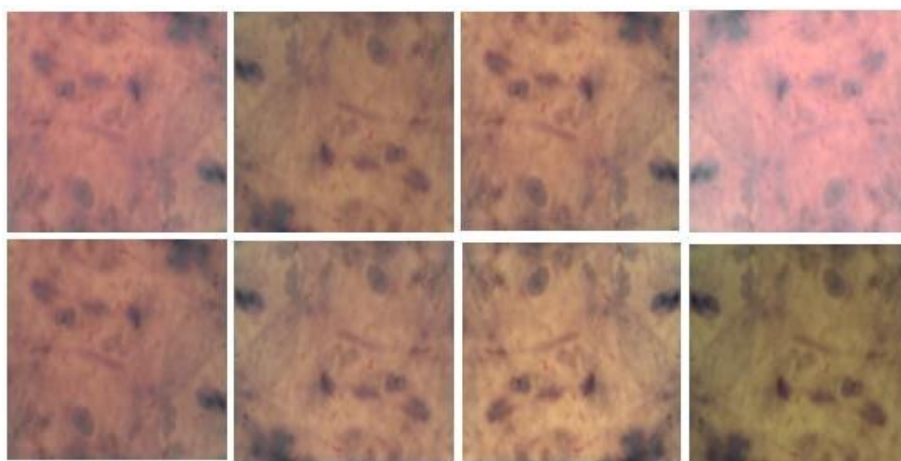


(ข) ภาพเสมหะที่เป็นผลลบ

รูปที่ 1 ตัวอย่างภาพเสมหะตัวอย่าง

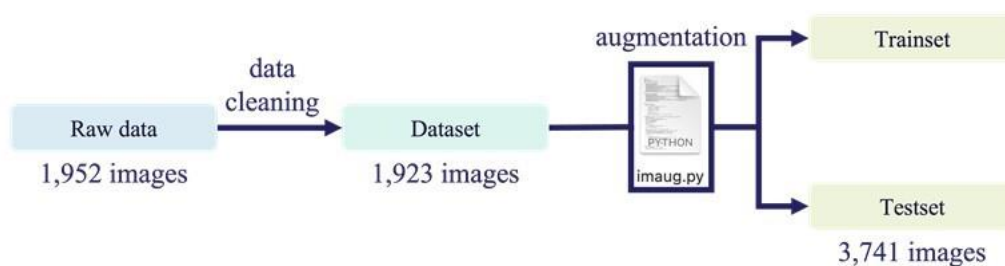
1.2 ปรับแต่งรูปภาพ (Augmentation) ทั้งหมดเพื่อเพิ่มจำนวนของชุดข้อมูลด้วย Albumentation (Iglovikov, 2023) ซึ่งเป็นไลบรารีของ Python (2022) ดังรูปที่ 2 โดยเทคนิคที่ใช้ในการปรับแต่งภาพนั้นประกอบไปด้วยดังนี้

- 1.2.1 Vertical flip and horizontal flip
- 1.2.2 Random brightness and contrast
- 1.2.3 Gaussian blur and noise
- 1.2.4 Downscale
- 1.2.5 Hue saturation value
- 1.2.6 JPEG compression
- 1.2.7 Rotate



รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการปรับแต่งภาพด้วย Albumentation

1.3 แบ่งชุดข้อมูลภาพออกเป็น 2 ชุดข้อมูลย่อย ดังรูปที่ 3 คือชุดการฝึก (Train set) ทั้งหมด 9,000 ภาพ และชุดการทดสอบ (Test set) ทั้งหมด 3,741 ภาพ โดยมีภาพผลบวก 1,871 ภาพ และภาพผลลบ 1,870 ภาพ

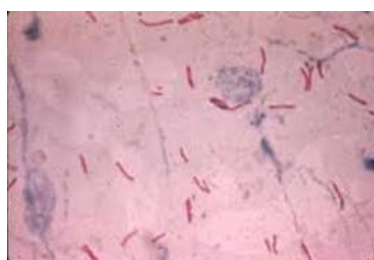


รูปที่ 3 แผนภาพการสร้างชุดข้อมูล (Dataset) ทั้ง 2 ชุดข้อมูล

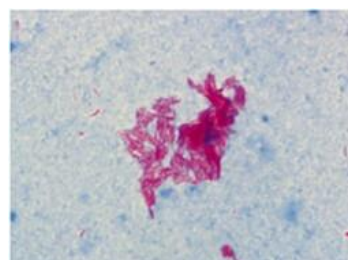
1.4 นำภาพเสมหะในชุดการฝึก ไปทำฉลากให้ข้อมูล (Data labeling) สำหรับการฝึกปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจจับวัตถุ (Object detection AI) โดยใช้เว็บไซต์ Roboflow (2022) ในการทำการฉลากเชื้อวัณโรคทำได้โดยการใช้เครื่องมือในเว็บไซต์ Roboflow ตีกรอบเชื้อวัณโรคทุกตัวในภาพทั้งหมดเพื่อทำฉลากสำหรับการฝึกปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้มีแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิเศษคอยกำกับดูแลการฉลากเชื้อวัณโรค ดังรูปที่ 5 เพื่อให้การทดลองมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้จำแนกประเภทของ *M. tuberculosis* ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.4.1 True MTB คือ *M. tuberculosis* ที่อยู่ตัวเดียว หรือกลุ่มเล็ก (2 ถึง 3 ตัว) ดังรูปที่ 4(ก)

1.4.2 Globi MTB คือ *M. tuberculosis* ที่อยู่กันเป็นกระจุก ไม่สามารถนับจำนวนได้ชัดเจน ดังรูปที่ 4(ข)



(ก) ตัวอย่างภาพที่พบ True MTB



(ข) ตัวอย่างภาพที่พบ Globi MTB

รูปที่ 4 ภาพการจำแนกระหว่าง True MTB และ Globi MTB



รูปที่ 5 การกำกับดูแลของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

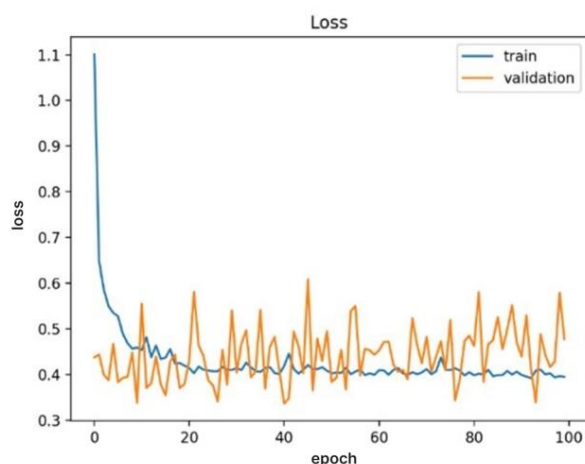
2. ขั้นตอนการพัฒนาาระบบ (System development)

2.1 พัฒนาโปรแกรมขึ้นด้วยโครงสร้างโปรแกรมภาษา Python โดยใช้ Google Colaboratory เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม และได้ใช้ชุดคำสั่งของ YOLOv5 (Jocher, 2020) ซึ่งเป็นโมเดลที่มีพื้นฐานในการคิดวิเคราะห์เพื่อตรวจจับวัตถุจาก CNN ซึ่งเป็น AI ที่มีหลักการคล้ายคลึงกับการมองเห็นของมนุษย์ที่มองพื้นที่เป็นที่ย่อย ๆ และประมวลผลภาพที่ได้จากการนำกลุ่มของพื้นที่ย่อย ๆ มาผสานกันและใช้ลักษณะที่สังเกตได้มาเชื่อมโยงเพื่อสรุปผลว่าวัตถุที่มองเห็นคืออะไร มาพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับ *M. tuberculosis* โดยผู้วิจัยได้นำเข้าโมเดลของ YOLOv5 ทั้งหมด 8 โมเดล เพื่อทดลองและเปรียบเทียบหาโมเดลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนี้

- 2.1.1 YOLOv5n
- 2.1.2 YOLOv5s
- 2.1.3 YOLOv5m
- 2.1.4 YOLOv5l
- 2.1.5 YOLOv5n6
- 2.1.6 YOLOv5s6
- 2.1.7 YOLOv5m6
- 2.1.8 YOLOv5l6

2.2 ทำการฝึกโมเดลที่นำเข้าด้วยคำสั่งจาก YOLOv5 โดยโมเดลขนาดเล็ก ซึ่งประกอบไปด้วยโมเดล YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m และ YOLOv5l จะถูกฝึกด้วยภาพที่มีขนาด 640x640 พิกเซล ส่วนโมเดลขนาดใหญ่ขึ้นคือ YOLOv5n6, YOLOv5s6, YOLOv5m6 และ YOLOv5l6 จะถูกฝึกด้วยภาพที่มีขนาด 1,280x1,280 พิกเซล ซึ่งในแต่ละโมเดลซึ่งถูกแบ่งออกเป็นโมเดล n, s, m และ l นั้น จะมีขนาดและจำนวนชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการประมวลผลที่ต่างกัน โดยในการฝึกโมเดลทั้งหมดนั้นจะถูกฝึกไว้ที่ 100 epochs ซึ่ง epoch คือจำนวนรอบที่โมเดลนั้นได้เรียนรู้จากชุดข้อมูลเดิมนั่นเอง

2.3 ประเมินประสิทธิภาพของโมเดลซึ่งประเมินได้จากการวิเคราะห์กราฟ Validation loss หรือกราฟความผิดพลาดที่ระบบคิดได้หลังจากการฝึกของแต่ละโมเดลจากการเรียนซ้ำ ๆ หลาย epoch ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน ซึ่งในการวิเคราะห์กราฟดังกล่าวนี้หากกราฟที่ได้มีความแปรปรวนจนไม่สามารถหารูปแบบของเส้นโค้งได้จะถือว่าโมเดลที่ถูกฝึกนั้นไม่ดี ดังรูปที่ 6 และจำเป็นต้องกลับไปขั้นตอนก่อนหน้าเพื่อจัดการกับชุดข้อมูลรูปภาพให้ดีขึ้น และสามารถปรับค่า Hyperparameters ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับโมเดลเพื่อการฝึกในครั้งถัดไปได้



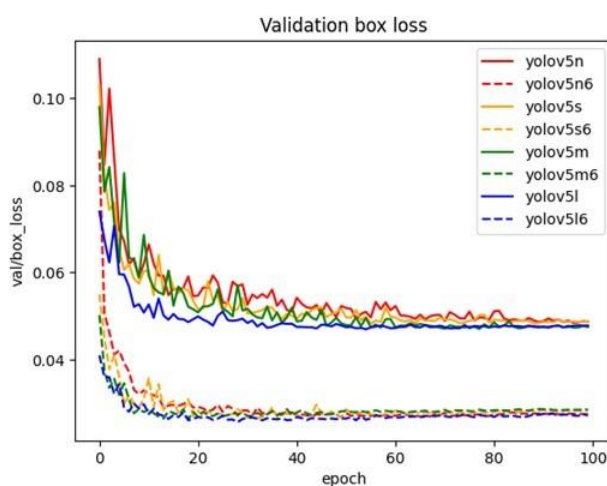
รูปที่ 6 ตัวอย่าง Validation loss จากการเรียนรู้ที่ไม่ดี

2.4 นำโมเดลที่ทำการฝึกเรียบร้อยแล้วมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านการตรวจภาพเบื้องต้นจากการนำภาพในชุดข้อมูลทดสอบ มาทดลองกับแต่ละโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องในการทำนายผลลัพธ์เมื่อเทียบกับผลการตรวจของแพทย์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านการตรวจจับวัตถุของโมเดลด้วยค่า F1-Score และ mAP@0.5 ที่ได้จากการประมวลผลภาพของชุดข้อมูลทดสอบ ก่อนนำไป export เป็นโมเดลที่พร้อมใช้งานจริง ๆ ออกสู่การทดลองหรือการพัฒนาเป็นนวัตกรรมในอนาคต

ผลการวิจัย

ในการนำเสนอผลการวิจัย รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลของการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอตามลำดับ ดังนี้

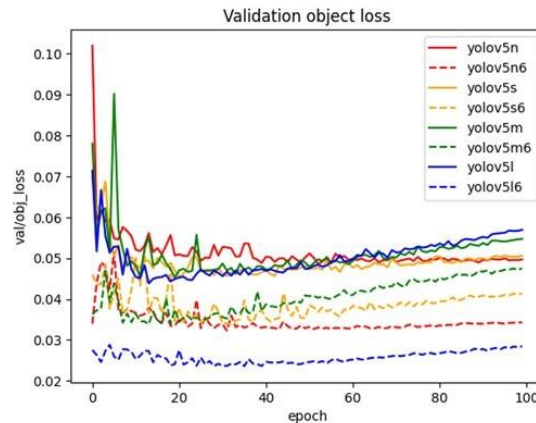
1. ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของโมเดล



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าระหว่าง Validation box loss และ epoch

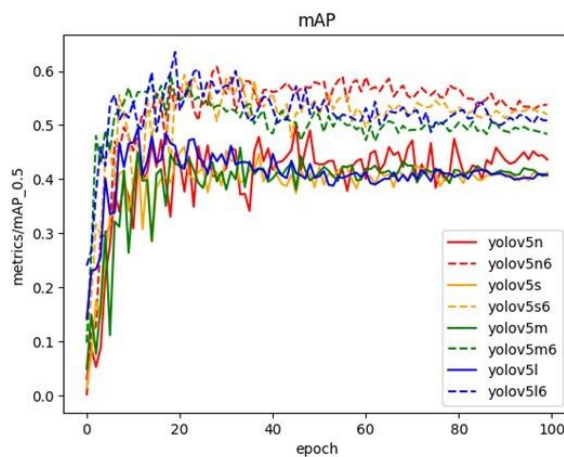
หลังจากการฝึกโมเดลแต่ละ epochs ระบบจะทำการทดสอบประสิทธิภาพและหาค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งของวัตถุ (Box loss) และเมื่อครบ 100 epochs แล้วจึงสามารถนำค่าตำแหน่งของวัตถุ มาสร้างกราฟเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการเรียนรู้ของระบบจากชุดรูปภาพได้ ซึ่งจากรูปที่ 7 พบว่า ระบบนั้นสามารถเรียนรู้จากชุดรูปภาพได้ โดยที่

โมเดลใหญ่ซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟเส้นประจะสามารถเรียนรู้ได้ดีกว่าโมเดลเล็กซึ่งเป็นกราฟเส้นทึบ โดยจากกราฟนั้นโมเดลใหญ่ให้ค่าตำแหน่งของวัตถุที่น้อยกว่าโมเดลเล็ก



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าระหว่าง Validation object loss และ epoch

เช่นเดียวกับกราฟดังรูปที่ 8 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Validation object loss) ซึ่งได้จากการวัดค่าการพบหรือไม่พบวัตถุในบริเวณนั้น ๆ ของโมเดลใหญ่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าโมเดลเล็กจึงทำให้โมเดลใหญ่มีแนวโน้มที่จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับวัตถุน้อยกว่าโมเดลเล็ก จึงสามารถสรุปได้ว่าโมเดลใหญ่นั้นมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้ที่ดีกว่าโมเดลเล็ก นอกจากนี้ผู้วิจัยก็ได้พบว่า ระบบนั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดภาวะ Overfitting ของโมเดล นั่นคือภาวะที่โมเดลมีการเรียนรู้จากชุดข้อมูลชุดการฝึกที่ดี ทว่าไม่สามารถนำไปใช้กับข้อมูลใหม่นั้นคือชุดข้อมูลทดสอบ ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพและความแม่นยำเมื่อนำไปใช้จริงมีค่าที่ต่ำ โดยหากมีการฝึกโมเดลด้วยจำนวน epoch ที่มากกว่า 100 epoch จะสังเกตภาวะ Overfitting ของโมเดลได้จากค่าความคลาดเคลื่อนของกราฟโมเดลทุกตัวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังผ่าน epoch ที่ 60



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าระหว่าง mAP และ epoch

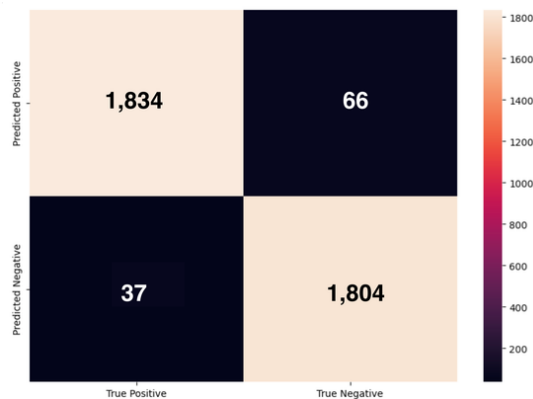
จากรูปที่ 9 นั้นพบ ว่าโมเดลใหญ่มีค่า mAP (Mean Average Precision) มากกว่าโมเดลเล็ก ซึ่งค่า mAP ก็คืออัตราส่วนของพื้นที่ของวัตถุที่ระบบสามารถตรวจจับได้เทียบกับขนาดจริง หากยังมีค่า mAP มากนั้นก็หมายความว่าโมเดลนั้นสามารถตรวจจับวัตถุได้แม่นยำมาก จึงสรุปได้ว่าโมเดลใหญ่มีแนวโน้มที่จะตรวจจับวัตถุได้มีประสิทธิภาพมากกว่าโมเดลเล็ก

2. ประสิทธิภาพในการตรวจภาพเบื้องต้นและการตรวจจำวัตถุ

ตารางที่ 1 ตารางค่าทางสถิติสำหรับการวัดประสิทธิภาพในการตรวจภาพเบื้องต้น

Model	Measures for classification			
	Sensitivity	Specificity	F1-Score	Average Detection Time (Milliseconds)
Yolov5n	0.9743	0.969	0.9717	10.6
Yolov5s	0.9802	0.9647	0.9727	11.1
Yolov5m	0.9818	0.9572	0.9699	13.6
Yolov5l	0.9845	0.9364	0.9614	17.0
Yolov5n6	0.9898	0.9353	0.9636	13.7
Yolov5s6	0.9947	0.9064	0.9526	13.9
Yolov5m6	0.9952	0.9037	0.9517	18.7
Yolov5l6	0.9952	0.8775	0.9399	23.8

จากตารางที่ 1 พบว่า โมเดล Yolov5s สามารถให้ค่า F1-Score ได้สูงที่สุดนั่นคือ 0.9727 เนื่องจากในการวัดประสิทธิภาพในการตรวจภาพเบื้องต้นนั้น ค่า F1-Score จะถูกใช้เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของโมเดล โดยยิ่ง F1-Score มีค่ามากหมายความว่าโมเดลมีประสิทธิภาพในการตรวจภาพเบื้องต้นมาก และ Average detection time คือการวัดประสิทธิภาพเชิงเวลา นั่นคือเวลาเฉลี่ยที่ระบบใช้ในการตรวจหาเชื้อต่อ 1 ภาพ ในหน่วยมิลลิวินาที



รูปที่ 10 Confusion matrix ของโมเดล Yolov5n6

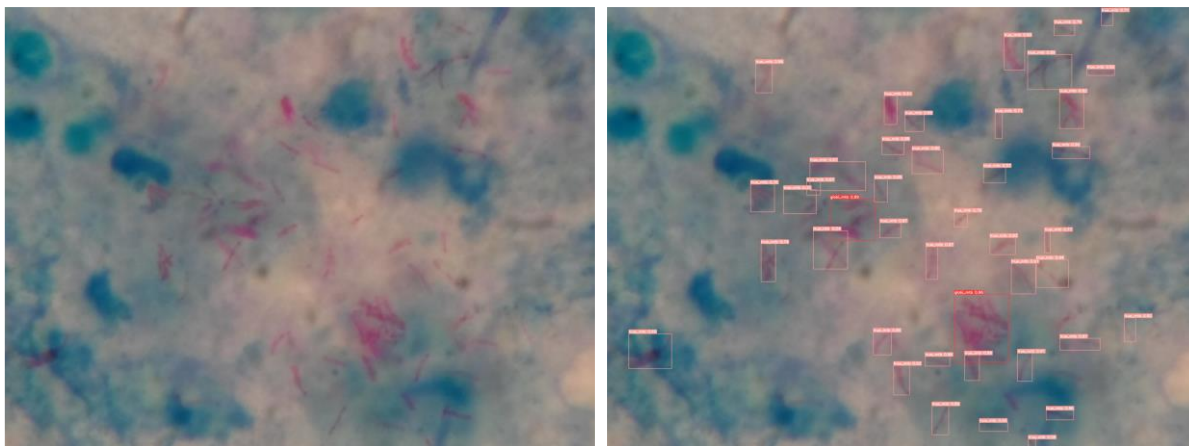
ตารางที่ 2 ตารางค่าทางสถิติสำหรับผลการตรวจจำวัตถุ

Model	Measures for object detection		
	Precision	Recall	mAP
Yolov5n	0.605	0.582	0.584
Yolov5s	0.624	0.595	0.569
Yolov5m	0.666	0.652	0.645
Yolov5l	0.615	0.551	0.537
Yolov5n6	0.673	0.761	0.727
Yolov5s6	0.738	0.732	0.710
Yolov5m6	0.708	0.735	0.699
Yolov5l6	0.714	0.748	0.718

จากตารางที่ 2 พบว่า โมเดล YOLOv5n6 สามารถให้ค่า mAP ได้สูงที่สุดนั่นคือ 0.727 นั่นคือโมเดล YOLOv5n6 มีความสามารถในการตรวจจับวัตถุ 72.7% ซึ่งเป็นความแม่นยำที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยในการวัดประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุ จะใช้ค่า mAP ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุแต่ละโมเดล นั่นคือยิ่งโมเดลมีค่า mAP มาก ประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุก็จะมากนั่นเอง

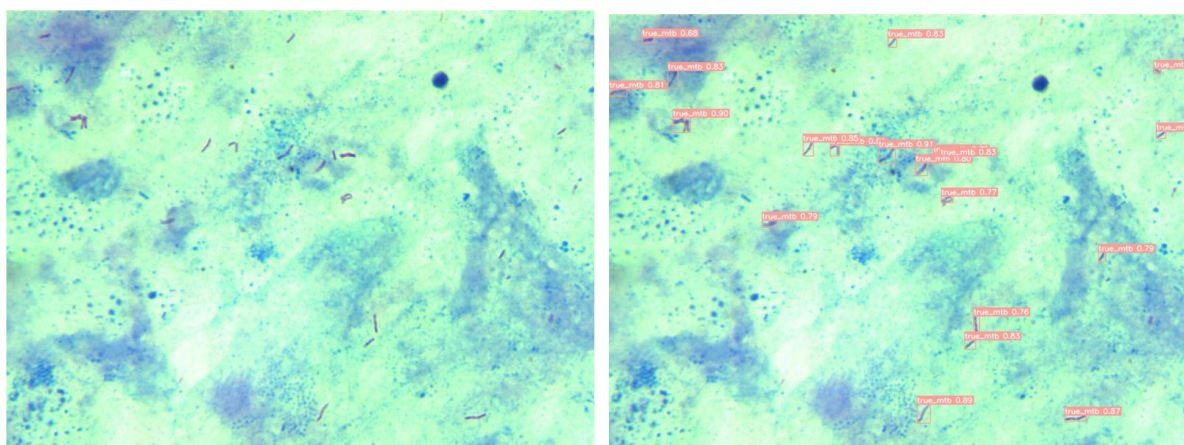
3. ตัวอย่างภาพจากการตรวจหาเชื้อด้วยระบบ

ผู้วิจัยต้องการให้ผู้อ่านได้เห็นภาพของรูปภาพที่ต้องใช้ในการตรวจหาเชื้อมากขึ้น จึงนำตัวอย่างของภาพแต่ละประเภทมานำเสนอ ดังรูปที่ 11



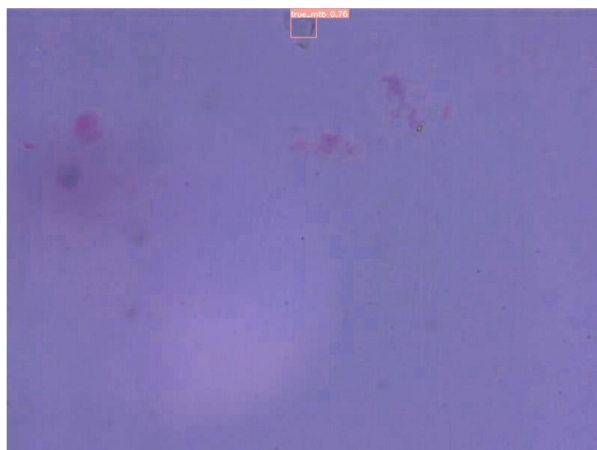
รูปที่ 11 ภาพการตรวจจับเชื้อภาพที่มีการย้อมสีเสมหะดี

ภาพการตรวจหาเชื้อที่ได้นั้นคือภาพที่พื้นหลัง หรือสิ่งอื่นที่ไม่ใช่เชื้อวัณโรค (Artifacts) เป็นสีน้ำเงิน และเชื้อตัวเชื้อวัณโรคเป็นสีชมพูหรือแดง ซึ่งภาพที่มีการย้อมสีเสมหะที่ดีนั้นมีแนวโน้มที่จะถูกตรวจหาเชื้อได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากสีของเชื้อกับพื้นหลังแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง



รูปที่ 12 ภาพการตรวจจับเชื้อภาพที่มีการใส่เลนส์เสริมสีเขียวด้วย mAP@.5 ที่ 72.7%

นอกจากนี้ ในบางภาพที่มีพื้นหลังลักษณะเป็นสีเขียวหรือฟ้า นั้นเกิดจากการใส่เลนส์เสริมสีเขียวเพื่อถนอมสายตาของผู้ตรวจหาเชื้อ ดังรูปที่ 12 ซึ่งภาพดังกล่าวนี้มีอยู่ในชุดข้อมูลซึ่งจากค่า mAP@.5 ที่ได้จึงทำให้โมเดลสามารถตรวจหาเชื้อในภาพได้สูงถึง 18 จุด จาก 20 จุด



รูปที่ 13 ภาพการตรวจจับเชื้อที่เป็น False positive (ตรวจจับผิดพลาด) ด้วย mAP@.5 ที่ 72.7%

ในบางภาพเสมหะตัวอย่างที่มีการประมวลผลที่ผิดพลาด พบว่า ระบบนั้นมีการตรวจจับสิ่งอื่นที่ไม่ใช่เชื้อไวรัส หรือ Artifacts ที่อยู่ในภาพเสมหะและระบุว่าเป็นเชื้อไวรัสเนื่องจาก Artifact ดังกล่าวมีลักษณะบางประการที่คล้ายคลึงกับเชื้อไวรัส เช่น สี รูปร่าง ขนาด ส่งผลให้เกิดภาพ False positive ขึ้นและจึงทำให้ระบบมีการตรวจจับเชื้อที่ผิดพลาด ดังรูปที่ 13

การอภิปรายผล

จากการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ในทุกขั้นตอน สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

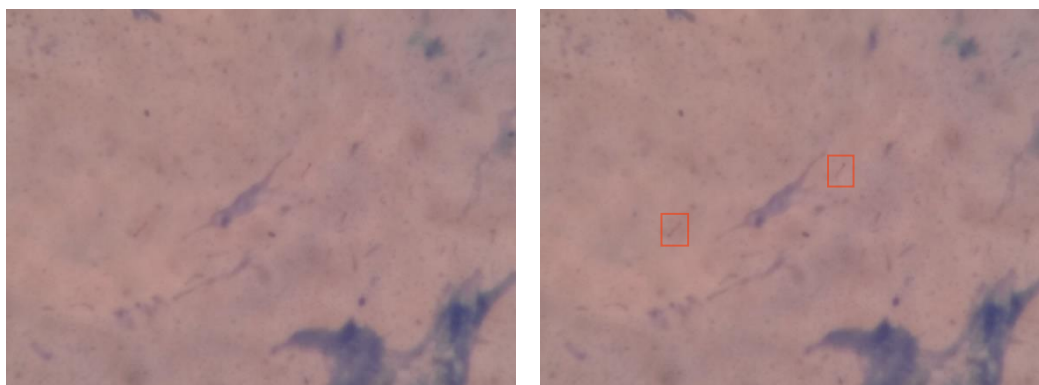
1.การวิเคราะห์ชุดของข้อมูล

1.1 การปรับปรุงชุดของข้อมูล

ในการพัฒนาความแม่นยำในการตรวจหาเชื้อนั้น ในช่วงแรกพบว่า มีความแม่นยำต่ำเนื่องจากใช้จำนวนชุดข้อมูลในการฝึกโมเดลน้อยเกินไป แต่หลังจากผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงจำนวนชุดของข้อมูลโดยการเพิ่มจำนวนรูปภาพ และคัดกรองรูปภาพที่มีการ Label ไว้ไม่ได้ออกจากชุดของข้อมูล พบว่า โมเดลมีความแม่นยำในการตรวจหาเชื้อเพิ่มมากขึ้น

1.2 ความยากในการแยกแยะเชื้อในภาพ

ในบางภาพนั้นมีความยากการแยกแยะเชื้อออกจากภาพพื้นหลัง เช่น เชื้อไวรัสในภาพมีสีที่กลมกลืนกับภาพพื้นหลังซึ่งอาจเกิดจากการย้อมเสมหะตัวอย่างที่ไม่ดี หรืออาจมี Artifacts อื่น ๆ ภายในภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเชื้อไวรัส นอกจากนี้ ในบางภาพนั้นมีย้อมสีเสมหะที่ต่างกัน จึงทำให้โมเดลนั้นเกิดความคลาดเคลื่อนในการตรวจพบเชื้อ



รูปที่ 14 ภาพเสมหะที่มีเชื้อไวรัสกลมกลืนกับพื้นหลัง

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตรวจหาเชื้อของโมเดล

2.1 ความแม่นยำในการตรวจหาเชื้อ

จากการตารางที่ 1 พบว่า เมื่อมีการคำนวณด้วย Confusion Matrix ในรูปที่ 10 พบว่า โมเดลที่มีค่า F1-Score มากที่สุด มีค่าความแม่นยำสูงถึง 97.27% ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่า 95% นั่นคือโมเดลสามารถตรวจหาเชื้อได้อย่างแม่นยำ และจากเวลาที่โมเดลใช้ในการตรวจหาเชื้อต่อภาพเฉลี่ย พบว่า โมเดลสามารถตรวจหาเชื้อในภาพได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งทั้งนี้ ระบบยังจำเป็นต้องพัฒนาเพื่อให้มีความแม่นยำเฉลี่ยนั้นมีความมากกว่า 99% เพื่อให้ระบบในการตรวจจับเชื้อวัณโรคนี้เป็นที่ ยอมรับได้ในทางการแพทย์และสามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยจริงได้ ซึ่งอาจทำได้โดยการเพิ่มผลจากการจำแนกชนิดของวัตถุ ต่าง ๆ ที่พบในเสมหะที่ถูกย้อมที่นอกเหนือจากเชื้อวัณโรค

บทสรุป

จากการสร้างระบบปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจหาเชื้อวัณโรคเพื่ออำนวยความสะดวกของแพทย์ในการตรวจหาเชื้อวัณโรค ด้วยวิธีการตรวจเสมหะแบบ Acid-Fast Bacillus (AFB) ซึ่งได้มีการพัฒนาขึ้นโดยเริ่มจากการเตรียมชุดข้อมูลภาพเสมหะ ตัวอย่างและฉลากเชื้อวัณโรคภายในภาพทั้งหมด จากนั้นนำชุดข้อมูลภาพที่ถูกเตรียมไปเทรนปัญญาประดิษฐ์เป็นจำนวน 100 epoch ในแต่ละโมเดล และนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจหาเชื้อวัณโรคหลังเทรน ซึ่งพบว่า ปัญญาประดิษฐ์ สามารถตรวจหาเชื้อ *M. tuberculosis* จากภาพได้กล้องจุลทรรศน์ของเสมหะได้สอดคล้องกับแนวคิดของผู้วิจัย ทั้งในการ ตรวจภาพเบื้องต้นและตรวจจับวัตถุโดยในการตรวจภาพเบื้องต้น โมเดลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ Yolov5s ซึ่งสามารถ ตรวจภาพเบื้องต้นด้วยค่าความไว ความจำเพาะ F1-Score และระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบใช้ในการตรวจจับเชื้อต่อ 1 ภาพ คือ 0.9802, 0.9647, 0.9727 และ 11.1 มิลลิวินาที ตามลำดับ และในการตรวจจับวัตถุ โมเดลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ Yolov5n6 ซึ่งสามารถตรวจจับวัตถุและสามารถแยกแยะประเภทของเชื้อได้ด้วยค่า Precision, Recall และ mAP คือ 0.673, 0.761 และ 0.727 ตามลำดับ

ทั้งนี้ความแม่นยำเฉลี่ยในการตรวจหาเชื้อวัณโรคที่สูงสุดที่ระบบสามารถทำได้นั้นคือ 72.7% ซึ่งมีความแม่นยำในการตรวจ ภาพเบื้องต้นคือ 96.36% สามารถนำไปพัฒนาให้มีความแม่นยำมากขึ้นเพื่อให้ระบบเป็นที่ยอมรับในทางการแพทย์ ตามคำแนะนำของนายแพทย์แอนดรูว์ แสงภู โดยการเพิ่มจำนวนของภาพเสมหะตัวอย่าง ปรับแต่ง Hyperparameter ต่าง ๆ ในการเรียนรู้ของโมเดล และรวมถึงการทดลองใช้โมเดลอื่น ๆ นอกเหนือจากโมเดลของ Yolov5 ในอนาคต ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจหาเชื้อวัณโรคให้มีความมากกว่า 99% รวมถึงการพัฒนา โปรแกรมเพื่อให้ระบบสามารถติดตั้งกับอุปกรณ์ที่ติดกับกล้องจุลทรรศน์และสามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยได้จริงในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยกรุณาของนายวิเชียร ดอนแรม ครูที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำในการจัดทำวิจัย การจัดหาเอกสารและตารางต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาค้นคว้า และจำเป็นต่อการใช้ทำการวิจัยครั้งนี้ ตลอดจน ช่วยตรวจเช็คสภาพความเรียบร้อยของงานวิจัย และขอขอบคุณนายแพทย์แอนดรูว์ แสงภู ครูที่ปรึกษาพิเศษของงานวิจัย ในครั้งนี้ที่ช่วยตรวจเช็คสภาพความเรียบร้อยของงานวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ขอขอบคุณ ผู้ปกครอง และอีกหลาย ๆ ท่าน ที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้ ซึ่งคอยเป็นกำลังใจและให้คำแนะนำในการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้ด้วยดี เสมอมาด้วยทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ถ้ามีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำยินดียอมรับไว้ด้วยความยินดียิ่ง ทั้งนี้ เพื่อจะได้นำไปพัฒนาผลงานใน อนาคตให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมโรค. (2561). การคัดกรองเพื่อค้นหาวัณโรคและวัณโรคดื้อยา (Systematic screening for active TB and drug-resistant TB). พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์อักษรกราฟิกแอนดี้ไซน์: กรุงเทพฯ.
- Iglovikov V. (2023). Albugmentations. Accessed 20 Aug 2022. <https://albugmentations.ai/>
- Jocher G. (2020). YOLOv5. Accessed 20 Aug 2022. <https://github.com/ultralytics/yolov5>
- Panicker R.O., Kalmady K.S., Rajan J. and Sabu M.K. (2018). Automatic detection of tuberculosis bacilli from microscopic sputum smear images using deep learning methods. Biocybernetics and Biomedical Engineering. 38(3): 691–699.
- Priya E. and Rajinikanth V. (2021). Signal and image processing techniques for the development of intelligent healthcare systems. 1st Edition. Springer: Singapore.
- Python. (2022). Download the latest version for Windows. Accessed 20 Aug 2022. <https://www.python.org/downloads/>
- Roboflow. (2022). Overview - Roboflow. Accessed 20 Aug 2022. <https://docs.roboflow.com/>
- Uddin S. (n.d.). Tuberculosis Image Dataset. Accessed 8 Sep 2022. <https://www.kaggle.com/datasets/saife245/tuberculosis-image-datasets>
- Serrão M.K.M., Costa M.G.F., Fujimoto B.L., Ogusku M.M. and Filho C.F.F.C. (2020). Automatic Bacillus detection in light field microscopy images using convolutional neural networks and mosaic imaging Approach. In the 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). The Institute of Electrical and Electronics Engineers: Montreal, QC, Canada. 1903-1906.
- Shah M.I., Mishra S., Yadav V.K., Chauhan A., Sarkar M., Sharma S.K. and Rout C. (n.d.). Tuberculosis Image. Accessed 28 Dec 2022. <http://14.139.240.55/znsn/>
- World Health Organization. (2021). Global tuberculosis report 2021. Accessed 20 Aug 2022 <https://www.who.int/publications/i/item/9789240037021>

Received: October 10, 2023; Revised: November 13, 2023; Accepted: December 3, 2023

ผลของการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ต่อผลผลิตข้าวและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ
อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์
Effect of site-specific nutrients management on rice yield and economic
return in Sikhoraphum District, Surin Province

ภุชงค์ สุภัทวารังกูร¹ สำเนาวิ เสาวกุล¹ อัจฉรวาดี เครือภักดี¹ และนิอร งามฮุย^{1*}
Puchong Suphakwarangkun¹, Samnao Saowakoon¹, Ajcharawadee Kruapukdee¹
and Nion Ngamhui^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

*Corresponding author: nion.ng@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากช่วยลดต้นทุนการผลิตพืชได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวของพื้นที่ศึกษาโดยใช้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ใช้เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด และเพื่อศึกษาผลผลิตที่ได้จากการปลูกข้าวโดยใช้ เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ ในพื้นที่ปลูกข้าวตำบลยาง อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ โดยเก็บตัวอย่างดิน จากพื้นที่นาข้าวจำนวน 50 แปลง วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ เนื้อดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ผลผลิตข้าว ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนทาง เศรษฐกิจ ในปี 2564-2565 ผลการศึกษาพบว่า ดินเป็นชุดดินร้อยเอ็ด มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแบ่ง ประกอบด้วยอนุภาค ทราย อนุภาคทรายแบ่ง และอนุภาคดินเหนียว ร้อยละ 20.78, 70.09 และ 9.13 ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินมี ปริมาณต่ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงต้องมีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ เพื่อปรับปรุงสมบัติเคมีของดิน ในการปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตสูงสุด ดังนั้นการใช้การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ของปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวในพื้นที่ ตำบลยาง อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้นร้อยละ 13.33 และลดต้นทุนการผลิตร้อยละ 11.95 หาก เกษตรกรใช้การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่จะทำให้ดินมีปริมาณธาตุอาหารพืชที่เพียงพอ ส่งผลให้พืชสามารถให้ผลผลิต ที่สูงขึ้น และเป็นการลดต้นทุนการผลิตเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: การจัดการธาตุอาหารพืช ดินนา ผลผลิตข้าวและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

Abstract

Site-specific nutrient management is a widely used technology that helps reduce the cost of crop production. The objective of this study was to determine the appropriate amount of chemical fertilizer for rice cultivation in the study area, utilizing the physical and chemical properties of the soil. This involved the application of site-specific nutrient management technology, also known as tailor-made fertilizer, and

a thorough investigation into the yields achieved through rice production using this technology. The study was conducted in the rice-growing areas of Yang Subdistrict, Sikhorphum District, Surin Province. Soil samples were collected from 50 rice fields and analyzed for their physical and chemical properties, including soil texture, pH, total nitrogen (Total N), available phosphorus (Available P), and exchangeable potassium (Exchangeable K). The study also examined rice production, costs, and economic returns during the 2021-2022 period. The results indicated that the soil belonged to the Roi Et soil series (Series Re) and had a silt loam texture, consisting of 20.78% sand particles, 70.09% silt particles, and 9.13% clay particles. Notably, the soil exhibited low nutrient levels, insufficient for optimal plant growth. To address this issue and improve the soil's chemical properties for rice cultivation, area-specific plant nutrient management or tailor-made fertilizers were recommended. The application of these customized fertilizers led to a 13.33% increase in rice yield and an 11.95% reduction in production costs. By adopting area-specific plant nutrient management, farmers could ensure that the soil contained sufficient nutrients for plant growth, resulting in higher yields, reduced production costs, and sustainable income increases.

Keywords: Nutrients management, Paddy soil, Rice yield and economic

บทนำ

ข้าวเป็นพืชหลักของประเทศไทย พันธุ์ข้าวที่ได้รับความนิยมปลูกและรับประทานคือ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และ กข 15 โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศประมาณ 60 ล้านไร่ ให้ผลผลิตประมาณ 25 ล้านตันต่อปี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 390-475 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ แต่พบว่าพื้นที่การเพาะปลูกข้าวลดลง (Office of Agricultural Economics, 2019) วัฒนธรรมการปลูกข้าวของจังหวัดสุรินทร์นิยมปลูกข้าวในพื้นที่เดิมติดต่อกันเป็นเวลานาน จึงส่งผลให้ดินนาที่ใช้ในการปลูกข้าวเกิดเสื่อมโทรม เนื่องจากการไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน สูญเสียหน้าดิน การใช้ปุ๋ยเคมี และสารกำจัดศัตรูพืชทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเสื่อมโทรม ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตข้าวทั้งด้านปริมาณและคุณภาพการผลิต การผลิตข้าวเปลือก 1,000 กิโลกรัม ข้าวต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 15-24, 3-6 และ 15-50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ชุดิวัฒน์, 2547) เพื่อให้เพียงพอต่อการผลิตข้าว ธาตุอาหารพืชจึงเป็นส่วนสำคัญที่ได้จากดิน แต่ปัจจุบันดินนาที่มีความเสื่อมโทรมส่งผลให้เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารให้พืช ซึ่งปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรเลือกใช้ เช่น สูตร 16-20-0 และสูตร 46-0-0 การใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินก่อนปลูกข้าว ทำให้เกษตรกรใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูงส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช เป็นการเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีที่เกินความจำเป็น โดยพบว่าในปี 2565 มีการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศประมาณ 4.1 ล้านตัน มีมูลค่าประมาณ 1 แสนล้านบาท (กรมวิชาการเกษตร, 2566) การใส่ปุ๋ยเคมีปริมาณมากนั้นยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพดินและสิ่งแวดล้อม เช่น ดินแน่นระบายน้ำไม่ดี มีปุ๋ยเคมีสะสมในดินเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ส่งผลให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มศักยภาพ ธาตุอาหารส่วนเกินจึงถูกชะละลายออกสู่สิ่งแวดล้อม (จักรชัยวัฒน์, 2563) ดินเป็นปัจจัยพื้นฐานในการผลิตพืชที่สำคัญ ซึ่งดินที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกควรมีอินทรีย์วัตถุ ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร แต่พื้นที่การเกษตรของประเทศไทย 149.25 ล้านไร่ เป็นดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 98.7 ล้านไร่ (วิมล, 2558) โดยอินทรีย์วัตถุมีความสำคัญในการช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งต้นทุนการผลิตในส่วนของปุ๋ยเคมี เฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 23 และเกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้เรื่องดิน และการใช้ปุ๋ยที่ถูกต้อง การลดต้นทุนการผลิตทางการเกษตรได้รับความสนใจทั้งในระดับประเทศและนานาชาติ สาเหตุสำคัญที่ทุกคนหันมาให้ความสนใจในประเด็นนี้ เนื่องจากการแข่งขันในตลาดโลกทวีความเข้มข้นขึ้น เทคโนโลยีต่าง ๆ ถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาศักยภาพในการผลิตพืชให้ได้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตตามที่ตลาดต้องการ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการจัดการปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวของพื้นที่ศึกษาโดยใช้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน โดยใช้เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ (Site-specific nutrient management) หรือปุ๋ยสั่งตัด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับการคำนวณสูตรปุ๋ย และปริมาณการใช้ปุ๋ยต่อพื้นที่หรืออัตราปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมช่วยลด

ต้นทุนการผลิตข้าว เพิ่มผลผลิตข้าวและเพิ่มผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ การใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมนั้นช่วยป้องกันการเสื่อมโทรมของดินทำให้การปนเปื้อนของธาตุอาหารในดิน และลดการชะละลายสู่แหล่งน้ำให้น้อยที่สุด เป็นอีกแนวทางในการปลูกข้าวที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกข้าว ตำบลยาง อำเภอสว่างวีรญาติ จังหวัดสุรินทร์ ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร หรือชั้นไพลรวนทั้งหมด 5 จุดต่อไร่ นำไปคลุกเคล้าให้ทั่วแล้วผึ่งให้แห้งบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ เนื้อดิน (Soil texture) ด้วยวิธีปิเปต (Pipette method) (อภิขญา และคณะ, 2565) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้อัตราส่วนดิน:น้ำเท่ากับ 1:5 w/v วัดด้วย pH meter ในไตรเจนทั้งหมด (Total N) ด้วยวิธี Kjeldahl method (Bremner, 1996) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P) โดยวิธีการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II วัดด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) โดยการสกัดด้วย 1.0 M NH_4OAc pH 7 วัดด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Pratt, 1965)

2. การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยประเมินระดับธาตุอาหารในดิน นำเข้าสู่การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัดด้วยแอปพลิเคชันคำนวณการใช้ปุ๋ยสั่งตัดและปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Fertilizer Usage Calculator by Soil Analysis; FCS) จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center; NECTEC) (Khamkaew, 2020) แล้วนำไปใช้คำนวณปริมาณปุ๋ยเคมี เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอย่างถูกต้องและเหมาะสม

3. การเก็บข้อมูล โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินและผลผลิตข้าวในแปลงเกษตรกรผู้เข้าร่วมโครงการ จำนวน 200 ราย ประเมินในอัตราร้อยละ 25 จำนวนตัวอย่าง 50 คน มีเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน จากนั้นทำการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัดครั้งที่ 1 จะใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) ปุ๋ยฟอสฟอรัส (18-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียม (0-0-60) และครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) และเก็บข้อมูลผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่) ในระยะเก็บเกี่ยว

4. การวิเคราะห์ข้อมูล และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรม Excel

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

การเก็บตัวอย่างดินพื้นที่เกษตรกรจำนวน 50 ราย ในพื้นที่ปลูกข้าว ตำบลยาง อำเภอสว่างวีรญาติ จังหวัดสุรินทร์ ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร พบว่าดินเป็นชุดดินร้อยเอ็ด (Series Re) มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam) ประกอบด้วยอนุภาทราย (Sand) อนุภาทรายแป้ง (Silt) และอนุภาคดินเหนียว (Clay) ร้อยละ 20.78, 70.09 และ 9.13 ตามลำดับ และสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ดินเป็นกรดกลางถึงกรดเล็กน้อยอยู่ระหว่าง 5.0-6.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total nitrogen) มีปริมาณต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P) มีปริมาณต่ำ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (K^+) อยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดินนาข้าวจำนวน 38 แปลง และการหาสูตรปุ๋ยรายแปลงที่เหมาะสมตามค่าการวิเคราะห์ดิน ในพื้นที่บ้านหนองแสง ตำบลกุดหวาย อำเภอสว่างวีรญาติ จังหวัดสุรินทร์ ผลการศึกษาพบว่า เนื้อดินในพื้นที่ตัวอย่างที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีปริมาณธาตุอาหารโดยรวมอยู่ในระดับต่ำ ปฏิกริยาดินมีสภาพกรดเล็กน้อยจนถึงเป็นกรดจัด เนื่องจากดินอาจเกิดจากการพัฒนาตัวของหินแอนดีไซต์ซึ่งเป็นวัตถุดิบกำเนิดดิน (จักรพงษ์ และคณะ, 2563) ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากเป็นชนิดพันธุ์ที่สามารถให้ผลผลิตได้ดีแม้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (กรมการข้าว, 2559) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกอยู่แล้วในพื้นที่ แต่ลักษณะดินดังกล่าวจำเป็นต้องมีการจัดการปริมาณธาตุอาหารอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้น จากการวิเคราะห์คุณสมบัติดินเบื้องต้นก่อนการปลูกข้าวมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินนั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวทั้งในระยะตกกอและการสร้างช่อดอก การจัดการคุณสมบัติของดินด้านความอุดม

สมบูรณ์ของดินนาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการปลูกข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ปุ๋ยเคมี เกษตรกรสามารถหาใช้ได้ง่ายงานสะดวก ประหยัดแรงงาน ปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินได้ ทั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง และในประเทศไทยมีการนำปุ๋ยมาใช้ในปริมาณที่มาก (Cao et al., 2013) โดยกรมการข้าวและกรมส่งเสริมการเกษตรแนะนำการใส่ปุ๋ยครั้งแรกสำหรับดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยสูตร 16-16-8 ในอัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย ดินประเภทนี้จะขาดธาตุโพแทสเซียม (กรมการข้าว, 2561) และใส่ปุ๋ยครั้งที่สองด้วยสูตร 46-0-0 ในอัตรา 5-10 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542; กรมการข้าว, 2561)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนปลูกข้าว

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณที่ตรวจวัดได้
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ		
เนื้อดิน		
อนุภาทราย (Sand)	ร้อยละ (%)	20.78
อนุภาคทรายแป้ง (Silt)	ร้อยละ (%)	70.09
อนุภาคดินเหนียว (Clay)	ร้อยละ (%)	9.13
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี		
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.00-6.50
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	ร้อยละ (%)	0.14
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	9.62
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Exchangeable potassium)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	102.05

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยปริมาณที่ตรวจวัดได้ในแต่ละพารามิเตอร์ในพื้นที่เกษตรกรทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 50 ราย

2. ผลการศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด

คำแนะนำการใช้ปุ๋ยจากแอปพลิเคชันคำนวณการใช้ปุ๋ยสั่งตัดและปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ในการคำนวณปริมาณปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้สำหรับเกษตรกรต่อการปลูกข้าว 1 ฤดูปลูก การใส่ปุ๋ยแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ใส่หลังหว่าน 15-20 วัน ระยะกล้าหรือระยะแตกกอจะใส่แม่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยโดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) (18-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (MOP) (0-0-60) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของราก และลำต้นให้แข็งแรงเพื่อการแตกกอในระยะแตกกอ และการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ในระยะสร้างรวงหรือระยะตั้งท้อง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อสร้างรวงให้แข็งแรงสมบูรณ์เมล็ดเต็ม ซึ่งการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ของตัวอย่างดินชุดดินร่อยเอ็ดในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ใช้สูตรปุ๋ย 6-3-4 โดยครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) ปุ๋ยฟอสฟอรัส (18-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียม (0-0-60) อัตรา 4, 7 และ 7 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) อัตรา 7 กิโลกรัมต่อไร่ จะเห็นว่าปุ๋ยสำหรับนาข้าวจากการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่นั้นใช้ปุ๋ยปริมาณน้อยกว่าปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้คือครั้งที่ 1 คือ ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 7 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 7 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 2) เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น แต่ผลภาพในการผลิตพืชของเกษตรกรนั้นกลับไม่ได้เพิ่มขึ้นตามมากนัก โดยมีเกษตรกรเป็นจำนวนมากใช้ปุ๋ยเคมีไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการและยังใส่มากเกินไปเกินความต้องการของพืชส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยต้นทุนต้นทุนปุ๋ยเคมีคิดเป็นร้อยละ 19 ถึง 20 ของต้นทุนการเพาะปลูกพืชทั้งหมด(ฐานเศรษฐกิจดิจิทัล, 2564) เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ โดยการใช้ปุ๋ยเคมีตามชุดดินและค่าวิเคราะห์ดินให้ตรงกับชนิดพืชและภูมิอากาศ ทศนิยม และประทีป (2558) ได้มีการจัดทำคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสั่งตัดโดยนำคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินที่จัดทำโดยกรมวิชาการเกษตรมาพัฒนา ร่วมกับนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช เช่น พันธุ์พืช แสงแดด อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ชุดดิน ฯลฯ มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิเคราะห์หาปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกพืชแต่ละชนิดจุดมุ่งหมายของการใช้ปุ๋ยสั่งตัดคือการลดต้นทุนปุ๋ย และให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการนำแม่ปุ๋ยมาผสมใช้เองทำให้เกษตรกรประหยัดกว่าการใช้ปุ๋ยสูตรสำเร็จโดยเฉลี่ยกระสอบละ 98 บาท หรือตันละ 1,956 บาท (ทศนิยม และประทีป, 2558)

ตารางที่ 2 การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ของดินนาในพื้นที่ปลูกข้าว ตำบลยาง อำเภอสี่ขงภูมิ จังหวัดสุรินทร์

ชุดดิน	สูตรปุ๋ย	อัตราการใช้ปุ๋ย (กิโลกรัมต่อไร่)			
		ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2
		46-0-0	18-46-0	0-0-60	46-0-0
ชุดดินร้อยเอ็ด	6-3-4	4	7	7	7

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในพื้นที่เกษตรกรรมทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 50 ราย

3. การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัดต่อผลผลิตข้าว

วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยประเมินระดับธาตุอาหารในดิน นำเข้าสู่การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด การวิเคราะห์คุณสมบัติดินเบื้องต้นก่อนการปลูกข้าวดินมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวทั้งในระยะแตกกอและการสร้างช่อดอก หลังการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด พบว่า จากการเก็บข้อมูลก่อนการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัดในพื้นที่ปลูกข้าวตำบลยาง และตำบลตาเกาะ อำเภอสี่ขงภูมิ จังหวัดสุรินทร์ ผลผลิตข้าวนาปี 2564 เฉลี่ยประมาณ 375 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อมีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด ในพื้นที่ปลูกข้าว ตำบลยาง และตำบลตาเกาะ อำเภอสี่ขงภูมิ จังหวัดสุรินทร์ ฤดูนาปี 2565 ผลผลิตข้าวเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเป็น 425 กิโลกรัมต่อไร่ เทียบกับผลผลิตข้าวนาปี 2564 จากการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ส่งผลให้เพิ่มผลผลิตข้าวคิดเป็นร้อยละ 13.33 (ตารางที่ 3) การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวรรณ และสมพร (2553) ที่พบว่าเกษตรกรมีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องการใช้ปุ๋ยเคมีที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และนำไปปฏิบัติใช้จริงในพื้นที่ของตนเอง เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีได้ เกษตรกรมีการนำเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด ไปปฏิบัติจะทำให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นจากเดิมเฉลี่ยไร่ละ 778.42 กิโลกรัมเพิ่มขึ้นเป็นไร่ละ 941.78 กิโลกรัม หรือเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นไร่ละ 163.37 กิโลกรัมต่อปีคิดเป็นร้อยละ 20.53

ลิลลี่ และคณะ (2556) กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างพืชกับธาตุอาหารพืชไว้ว่าพืชเจริญเติบโตได้ครบวงจรต้องได้รับธาตุอาหารพืชครบถ้วนทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และพืชบางชนิด เช่น ข้าว ต้องการธาตุอาหารเสริมเพื่อการเจริญเติบโต หากพืชขาดธาตุอาหารจะแสดงออกในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบ ใบมีสีที่ผิดปกติ เช่นสีใบที่จางลง หรือเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เนื่องจากการขาดไนโตรเจน ซึ่งไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ในพืช ความสมบูรณ์ของพืชจึงสามารถศึกษาได้จากปริมาณของ คลอโรฟิลล์ซึ่งปรากฏในเนื้อเยื่อใบ ภายใต้สภาพของใบข้าวแสดงให้เห็นความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ Chlorenchyma ที่บรรจุคลอโรฟิลล์ในชั้น Mesophyll ของใบข้าวมีความสำคัญในการสร้างสารประกอบอินทรีย์ตัวแรกในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง (C^3 pathway carbon reduction cycle) ดังนั้นใบข้าวที่มีเนื้อเยื่อ Chlorenchyma ใน Mesophyll ที่หนาแน่นย่อมส่งผลดีในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และมีแนวโน้มทำให้พืชมีความแข็งแรง ในขณะที่โครงสร้างสำคัญของรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าว คือ Endodermis ที่ควบคุมสมดุลเกลือแร่ที่ผ่านรากขึ้นสู่ลำต้น รากที่มี Endodermis ที่สมบูรณ์มีความสามารถควบคุมสมดุลเกลือแร่ได้ดี โดยปุ๋ยเป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช แต่เดิมการทำเกษตรไม่ต้องใส่ปุ๋ยเนื่องจากมีการถางป่าเพื่อทำการเกษตร ดินจึงยังมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ แต่ในปัจจุบันมีการใช้ที่ดินเพื่อปลูกพืชอย่างเข้มข้น มีการใช้ที่ดินติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรม ปริมาณผลผลิตของเกษตรกรลดลงไม่ได้ตามต้องการ เกษตรกรจึงใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตที่มากขึ้นตามที่เกษตรกรต้องการ ซึ่งตามหลักวิชาการการใช้ปุ๋ยเคมีต้องสอดคล้องกับสภาพดิน ชนิดพืช เวลาที่ต้องการ รวมทั้งวิธีการใส่ที่ถูกต้องด้วย (ทัศนีย์ และประทีป, 2558) ช่วยส่งเสริมอัตราการผลิตในข้าวหอมมะลิ 105 การสร้างเมล็ดดีต่อรวง ส่งผลต่อแนวโน้มของน้ำหนักเมล็ดเพิ่มสูงขึ้น (นุชจรี และคณะ, 2558) และเพิ่มผลผลิตได้ (กอบเกียรติ, 2558)

ตารางที่ 3 ผลผลิตข้าวจากการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด ในพื้นที่ปลูกข้าว ตำบลยาง อำเภอสี่ขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์

ผลผลิตข้าว				อัตราการ
นาปี 2564 (กิโลกรัมต่อไร่)	จำนวน เกษตรกร	นาปี 2565 (กิโลกรัมต่อไร่)	จำนวน เกษตรกร	เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
300	21	300	2	
350	13	350	9	
400	11	400	12	
450	5	450	17	
		500	9	
		550	1	
เฉลี่ยผลผลิตข้าว 375	50	เฉลี่ยผลผลิตข้าว 425	50	13.33

4. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด

ปี 2565 ปุ๋ยเคมีมีการปรับราคาสูงขึ้นส่งผลให้เกษตรกรมีต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย จากการสำรวจและเก็บข้อมูลของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่ตำบลยาง อำเภอสี่ขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ โดยพบว่าต้นทุนการผลิตค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีปี 2564 มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยประมาณ 544 บาทต่อไร่ เมื่อแนะนำและเผยแพร่องค์ความรู้เรื่องการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัดกับเกษตรกรในพื้นที่ปลูกข้าว แม้ว่าราคาปุ๋ยเคมีจะมีการปรับราคาสูงขึ้น แต่กลับพบว่าต้นทุนการผลิตค่าปุ๋ยเคมีของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวปี 2565 ลดลงเป็น 479 บาทต่อไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 11.95 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ (ตารางที่ 4) การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด เพื่อให้เกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการใช้ปุ๋ยเคมีที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และนำไปปฏิบัติใช้จริงในพื้นที่ของตนเอง เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีได้ เกษตรกรมีการนำเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด ไปปฏิบัติจะช่วยลดต้นทุนการผลิตข้าวได้ร้อยละ 38.27 ต้นทุนการใช้ปุ๋ยเคมีลดลงจากเดิมเฉลี่ยไร่ละ 1,591.40 บาท ลดลงเหลือ 682.32 บาท มูลค่าที่เปลี่ยนแปลงลดลงไร่ละ 457.2 บาท (สุวรรณ และสมพร, 2553) การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน หรือเทคโนโลยีปุ๋ยสั่งตัด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้อยู่แล้วอย่างแพร่หลายในหลายพื้นที่เป็นเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ซึ่งช่วยให้เกษตรกรได้เลือกใช้ปุ๋ยถูกชนิด ถูกปริมาณ เป็นการลดต้นทุนการผลิต เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น (ทัศนีย์ และประทีป, 2558)

ตารางที่ 4 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด ในพื้นที่ปลูกข้าว ตำบลยาง อำเภอสี่ขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์

ต้นทุนค่าปุ๋ย (บาทต่อไร่)				อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
นาปี 2564	จำนวนเกษตรกร	นาปี 2565	จำนวนเกษตรกร	
544	50	479	50	11.95

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในพื้นที่เกษตรกรทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 50 ราย

บทสรุป

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดิน พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงต้องมีการใส่ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน โดยการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด เพื่อปรับปรุงสมบัติเคมีของดินในการปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตสูงที่สุดดังนั้นการใช้การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัดของปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวในพื้นที่ ตำบลยาง อำเภอสี่ขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวต่อไร่สูงขึ้นร้อยละ 13.33 และลดต้นทุนการผลิตร้อยละ 11.95 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีลดต้นทุนในการปลูกข้าว องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุรินทร์ ประจำปี 2565 และ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. (2559). องค์ความรู้เรื่องข้าว การผลิตข้าวอินทรีย์. ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2566.
<http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=4-2.htm>.
- กรมการข้าว. (2561). คู่มือองค์ความรู้และวิธีการถ่ายทอดความรู้ ด้านเทคโนโลยีการผลิตข้าวด้านการจัดการดินและการใช้ปุ๋ยในนาข้าว. ค้นเมื่อ 2 กันยายน 2566.
http://brpe.Ricethailand.go.th/images/PDF/handbook_5_bigfarm/3--.pdf.
- กรมวิชาการเกษตร. (2566). ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมี. ค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2566.
<https://www.oae.go.th/view/1/ปัจจัยการผลิต/TH-TH>.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2542). การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105. พิมพ์ครั้งที่ 2. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด: กรุงเทพฯ.
- กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ. (2558). โครงการวิจัยและพัฒนาด้านดิน น้ำและปุ๋ยอ้อย. กรมวิชาการเกษตร: กรุงเทพฯ.
- จักรชัยวัฒน์ กาวีวงศ์. (2563). การจัดการธาตุไนโตรเจนเพื่อการผลิตข้าวหอมมะลิในชุดดินแม่ทะ. วารสารแก่นเกษตร. 48(1): 189-200.
- จักรพงษ์ ไชยวงศ์, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์, ประสิทธิ์ วังภคพัฒน์วงศ์ และสุภาพ ปารมี. (2563). ลักษณะของดินและการสะสมคาร์บอนในดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินต่างกันภายใต้ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณ ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่. PSRU Journal of Science and Technology. 5(1): 41-51.
- ชุดิวัฒน์ วรรณสาย. (2547). การจัดการธาตุอาหารหลักในนาข้าว. ศูนย์วิจัยและพัฒนาข้าวพิษณุโลก สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 กรมวิชาการเกษตร: กรุงเทพฯ.
- ฐานเศรษฐกิจดิจิทัล. (2564). ราคาปุ๋ยเคมีไทย-โลกพุ่ง ผู้ค้าขอจับเข้าคุยพาณิชย์ไม่ให้ขยับ-ไม่นำเข้า. ฐานเศรษฐกิจ, p. 9. ค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2566. <https://www.thansettakij.com/economy/501362>.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. (2558). ธรรมชาติของดินและปุ๋ย. ค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2566.
https://drive.google.com/file/d/1LLUbDN52f6wBoH_PEvdbOMKnYqeRsT9/edit.
- นุชจรี กองพลพรหม, ฤทธิรงค์ จังโกฏี และธวัชชัย ธานี. (2558). ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง และปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวหอมมะลิ 105. วารสารก้าวหน้าโลกวิทยาศาสตร์. 15(1): 66-77.
- ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์, สุริยา ดันติวิวัฒน์ และณรงค์ วงศ์กันทรการ. (2556). สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- วิมล สิงหะพล. (2558). โครงการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยเพื่อลดต้นทุนการผลิต ปี 2558. ค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2566.
<https://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/15250>.
- สุวรรณา ประณีตวาทกุล และสมพร อิศวิลานนท์. (2553). การประเมินผลกระทบของโครงการการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่เพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์ สาขาสังคมศาสตร์. 31(2): 231-244.
- อภิษฐา ศรีแสงอ่อน, คณิตา ดังคณานุรักษ์, ดาวจรัส เกตุโรจน์สุธี และจรรยา สุทธิวงศ์. (2565). การลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปลูกข้าวโดยใช้การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่และการใช้มูลไก่อ่วมกับปุ๋ยเคมี. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา). 22(1): 145-155.

- Bray R.H. and Kurtz L.T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils Soil Science. 59: 39-45.
- Bremner J.M. (1996). Nitrogen-Total. In: Sparks D.L., Pang A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T, Sumner M., editors. Method of soil analysis part 3: Chemical method. Madison, Wisconsin. USA: Soil Science Society of America Journal.
- Cao Y., Tian, Y., Yin B. and Zhu Z. (2013). Assessment of ammonia volatilization from paddy fields under crop management practices aimed to increase grain yield and N efficiency. Field Crops Research 147: 23-31.
- Khamkaew W. (2020). FCS (Fertilizer Usage Calculator by Soil Analysis). Accessed 19 Apr. 2020. https://www.thailandtechshow.com/upload_technology/attachment/17.pdf.
- Office of Agricultural Economics. (2019). Agricultural economics database: 2019. Accessed 29 Jul. 2019. <http://www.oae.go.th/>
- Pratt P.F. (1965). Potassium. In: Norman AG, editors. Method of soil analysis Part 2: Chemical and Microbiology properties. Madison, Wisconsin. USA: American. Society. of Agronomy. Inc.; p.1022-1030.

Received: July 21, 2023; Revised: September 2, 2023; Accepted: December 19, 2023

การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ (*Pomacea canaliculata*)
โดยกระบวนการที่ใช้ต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปุ๋ยน้ำ
Synthesis of calcium acetate from golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)
shells with a low-cost process for using as raw material for liquid fertilizer

วิมลมาศ บุญมี¹ เชาวเรศ แสงอรุณ^{1*} บรรจง บุญชม¹ นที โอภาสี¹ สรกีจ มงคล¹
ธนา กัวพานิช² และบุพผา จงพัฒน์²

Wimonmat Boonmee¹, Chaowared Seangarun^{1*}, Banjong Boonchom¹, Natee Ohpasee¹,
Sorakit Mongkol¹, Thana Kuaphanich² and Buppha Jongput²

¹คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

¹Faculty of science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

²Faculty of agricultural technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

*Corresponding Author E-mail Address: 65056103@kmitl.ac.th.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดอะซิติกต่อการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ ซึ่งตัวอย่างถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาระหว่างผงเปลือกหอยเชอรี่ (CaCO_3) กับกรดอะซิติกเข้มข้น 8, 10 และ 12 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อกรดอะซิติกเป็น 1:2 จะได้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง (CA8 CA10 และ CA12) จากนั้นวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีผงแคลเซียมอะซิเตทที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Powder Diffraction (XRD), Fourier Transform-infrared Spectroscopy (FTIR), Thermal Gravimetric Analysis (TG/DTG) และ Scanning Electron Microscopy (SEM) ผล FTIR และ XRD ยืนยันว่า โครงสร้างของสารประกอบที่เตรียมได้เป็น $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ โดยความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อโครงสร้างของแคลเซียมอะซิเตท แต่ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของแคลเซียมอะซิเตทที่ได้มีขนาดเล็กลง ซึ่งตัวอย่างที่มีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุด คือ CA10 เมื่อนำสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มาทดลองเตรียมสารละลายแคลเซียมอะซิเตทโดยนำตัวอย่าง 17.6 g ละลายในน้ำปราศจากไอออน 100 mL เมื่อนำสารละลายแคลเซียมอะซิเตทที่เตรียมได้ไปตรวจวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) พบว่า สารละลายที่เตรียมจาก CA10 มีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด ผลการวิจัยได้ข้อสรุปว่า สามารถผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่เหลือทิ้งโดยกระบวนการที่รวดเร็วและต้นทุนต่ำได้ ซึ่งกระบวนการนี้เหมาะสมจะนำไปใช้ต่อยอดในระดับอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: เปลือกหอยเชอรี่ แคลเซียมอะซิเตท โมโนไฮเดรต ปุ๋ยน้ำแคลเซียม

Abstract

This research aims to study the effect of acetic acid concentration on the synthesis of calcium acetate from golden apple snail shells. Samples were prepared from the reaction of golden apple snail shell powders (CaCO_3) and 8M, 10M and 12M of acetic acid in 1:2 mole ratio. The obtained samples were labeled as CA8, CA10 and CA12. The structure and chemical composition of as-prepared calcium acetate powders were analyzed by X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Powder Diffraction (XRD), Fourier Transform-infrared Spectroscopy (FTIR), Thermal Gravimetric Analysis (TG/DTG) and Scanning Electron Microscopy (SEM) technique. FTIR and XRD results confirmed that the prepared samples are $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Increasing acetic acid concentration does not affect to the structure of calcium acetate but it decreases calcium acetate particle sizes. The sample with highest yield and soluble percentage is CA10. The prepared calcium acetate compounds were used to prepare calcium acetate solutions by dissolving 17.6 g of sample in 100 mL deionized water. The prepared calcium acetate solutions were analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS), the result show that the solution prepared from CA10 had the highest calcium content. From the results, it can be indicated that calcium acetate which is the raw material of liquid fertilizer can be prepared from golden apple snail shell wastes by rapid and low-cost process. This process is suitable for further use in the industrial scale.

Keywords: Golden apple snail shells, Calcium acetate monohydrate, Liquid calcium fertilizer

บทนำ

หอยเชอรี่ (*Pomacea canaliculata*) มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ สามารถเติบโตและขยายพันธุ์ได้รวดเร็วมาก โดยหอยเชอรี่ 1 ตัว สามารถวางไข่ได้ 300-3,000 ฟองต่อเดือน โดยมีระยะฟักตัว 7-14 วัน จนกระทั่งเมื่อถูกนำเข้ามายังไทยและประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้กลายเป็นสิ่งมีชีวิตที่รุกรานระบบนิเวศในแถบนี้อย่างหนัก เนื่องจากแพร่กระจายไปในนํ้าอย่างรวดเร็วและกัดกินข้าวที่เกษตรกรปลูก (Sin, 2003; Seesanong et al., 2019) แต่ในขณะเดียวกันหอยเชอรี่สามารถนำมาทำประโยชน์ได้ เช่น ใช้เป็นแหล่งอาหารสัตว์ และใช้ในการบริโภคของมนุษย์ เป็นต้น ปัจจุบันจึงได้มีการทำฟาร์มหอยเชอรี่ในไทยสำหรับการบริโภคของมนุษย์ และใช้เป็นอาหารสัตว์ในฟาร์มสัตว์ปีกต่าง ๆ (Sin, 2003) โดยเปลือกหอยเชอรี่นั้นมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ถึง 95% จึงมีการวิจัยเพื่อนำเปลือกหอยเชอรี่มาใช้ในการเตรียมสารประกอบแคลเซียมต่าง ๆ (Seesanong et al., 2019; Sunti et al., 2022)

แคลเซียมอะซิเตท (Calcium acetate; $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) เป็นเกลือของสารประกอบแคลเซียมกับกรดอะซิติก พบได้ในหลายรูปได้แก่ Anhydrous, Hemihydrate และ Monohydrate แต่รูปที่พบมากที่สุดคือ Monohydrate (Bette et al., 2020) โดยแคลเซียมอะซิเตทถูกนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็น การแพทย์ (Nolan and Qunibi, 2003; Chan et al., 2017) การเกษตร (Borchert, 1986; Lakaew et al., 2020) สิ่งแวดล้อม (Steciak et al., 1995; Dionysiou et al., 2000; Uysal et al., 2020) อาหาร (Lu et al., 1980; Price et al. 2020) และใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบชนิดอื่น (Safronova et al., 2017; Omran et al., 2020) ซึ่งแคลเซียมอะซิเตทถูกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบแคลเซียมต่าง ๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นต้น กับกรดอะซิติก (Bette et al., 2020) โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็นไปดังปฏิกิริยาที่ (1) ซึ่งเปลือกหอยเชอรี่เองก็มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท



แคลเซียมอะซิเตทซึ่งเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียม (Borchert, 1986) โดยแคลเซียมเป็นธาตุที่พืชต้องการมาก มีบทบาทสำคัญช่วยให้ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อและต้นพืชแข็งแรง (ยงยุทธ, 2543) จึงมีความจำเป็นต่อพืชอย่างมาก โดยการให้แคลเซียมในรูปปุ๋ยน้ำทางใบก็เป็นอีกทางหนึ่งซึ่งนิยมใช้กับพืชหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยยืนยันว่า พืชสามารถดูดซึมแคลเซียมอะซิเตทในรูปปุ๋ยน้ำได้ดี (Borchert, 1986) และยังช่วยลดการสูญเสียผลผลิตก่อนการเก็บเกี่ยว (Lakaew et al., 2020)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่โดยใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่างกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้ต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างที่เตรียมได้ รวมถึงสมบัติการละลายของสารประกอบเพื่อทดสอบความเหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียม ซึ่งการนำเปลือกหอยเหลือทิ้งกลับมาใช้เป็นแหล่งแคลเซียมในการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทนั้น ยังเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและลดการใช้แร่แคลเซียมจากแหล่งแร่ซึ่งถือเป็นการช่วยลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเตรียมเปลือกหอยเชอรี่

นำเปลือกหอยเชอรี่ดั่งรูปที่ 1 มาล้างทำความสะอาดและตากไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเปลือกหอยที่สะอาดแล้วไปบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสารแล้วกรองผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช จะได้ผงเปลือกหอยเชอรี่ที่บดละเอียด



รูปที่ 1 แสดงเปลือกหอยเชอรี่

การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท

ชั่งผงเปลือกหอยเชอรี่บดละเอียดใส่ในบีกเกอร์ 3 ใบ ใบละ 10 กรัม จากนั้นเติมกรดอะซิติกความเข้มข้นที่ 8, 10 และ 12 โมลาร์ ปริมาณ 25, 20 และ 16.7 มิลลิลิตร ตามลำดับ เพื่อให้อัตราส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตต่อกรดอะซิติกเป็น 1:2 โดยโมล ปั่นกวนจนกระทั่งปฏิกิริยาในบีกเกอร์แต่ละใบสิ้นสุด บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ตั้งแต่เติมสารจนกระทั่งปฏิกิริยาสมบูรณ์ไม่มีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วเกิดขึ้นแล้วในแต่ละตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างทั้ง 3 ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำผงที่แห้งแล้วมาบดและกรองผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช จะได้ตัวอย่าง CA8, CA10 และ CA12 ตามลำดับ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่าง

ตัวอย่างทั้ง 3 จะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะใช้เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) ยี่ห้อ Rigaku รุ่น ZSX PrimusIV วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) ยี่ห้อ Perkin-Elmer รุ่น Spectrum GX วิเคราะห์โครงสร้าง

ผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Rigaku รุ่น SmartLab วิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) ยี่ห้อ Perkin-Elmer รุ่น Pyris Diamond วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 250

ร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของตัวอย่าง

ร้อยละผลผลิตของสารประกอบจะถูกคำนวณโดยใช้สมการที่ (1)

$$\text{Yield}(\%) = \frac{m_{\text{obs}}}{m_{\text{theor}}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ m_{obs} คือ น้ำหนักจริงของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์ได้

m_{theor} คือ น้ำหนักทางทฤษฎีที่ควรจะได้ของแคลเซียมอะซิเตท

การวิเคราะห์ร้อยละการละลายของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตททำโดยชั่งตัวอย่าง CA8, CA10 และ CA12 ตัวอย่างละ 1.00 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 250 mL ตัวอย่างละ 1 ใบ จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออน 100 mL ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ นำไปเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มากรองโดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.42 จากนั้นนำไปอบที่ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อหาน้ำหนักของสารประกอบส่วนที่ไม่ละลายน้ำ จากนั้นนำไปคำนวณหาร้อยละการละลายโดยใช้สมการที่ (2)

$$\text{Soluble percentage}(\%) = \frac{m_s - m_N}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ m_s คือน้ำหนักของแคลเซียมอะซิเตทที่นำไปละลายในของเหลว

m_N คือน้ำหนักของตะกอนที่เหลือ

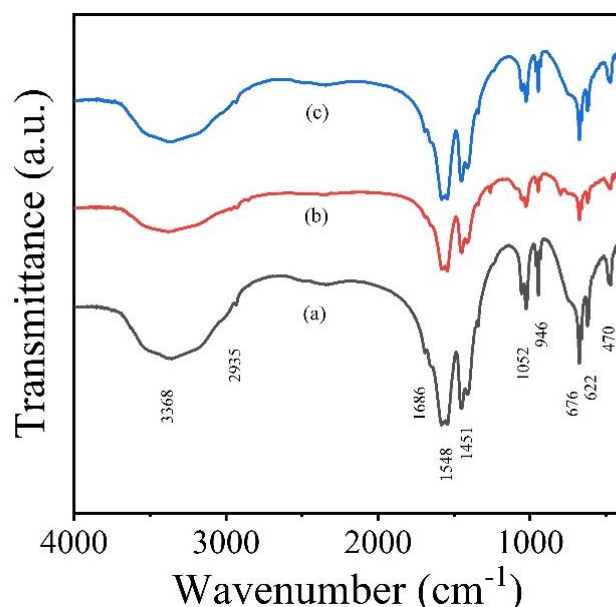
การเตรียมสารละลายแคลเซียมอะซิเตท

เตรียมสารละลายแคลเซียมอะซิเตทให้มีความเข้มข้นประมาณ 1 โมลต่อลิตร โดยชั่งสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่ได้จากขั้นตอนที่ 2.2 แต่ละตัวอย่างมา 17.6 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่น 100 mL จากนั้นนำไปกรองโดยใช้ชุดกรองลดความดัน เพื่อกรองตะกอนส่วนที่ไม่ละลายออก จะได้สารละลายใสไม่มีสี จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมจากตัวอย่างแต่ละตัวอย่างไปวิเคราะห์ ความเป็นกรด-ด่าง และการนำไฟฟ้า รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนในสายละลายด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

เมื่อนำสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR พบว่า สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ CA8, CA10 และ CA12 เป็นไปดังรูปที่ 2 ตำแหน่งพิกและรูปแบบการสั่นของพันธะทั้งหมดเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 1 พบพิกการสั่นแบบ Stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่ตำแหน่งประมาณ 3,390-3,360 cm^{-1} พบพิกการสั่นแบบ Stretching และ Bending ของหมู่ฟังก์ชัน C-H ที่ตำแหน่ง 2,930 และ 1,050 cm^{-1} พบพิกการสั่นแบบ Stretching ของหมู่ฟังก์ชัน C=O ที่ตำแหน่ง 1,686 cm^{-1} พบพิกการสั่นแบบ Stretching ของหมู่ฟังก์ชัน C-O ทั้งแบบอสมมาตรและแบบสมมาตร ที่ตำแหน่ง 1,548 และ 1,450 cm^{-1} ตามลำดับ พบพิกการสั่นแบบ Stretching ของหมู่ฟังก์ชัน C-C ที่ตำแหน่ง 946 cm^{-1} พบพิกการสั่นแบบ Stretching และ Bending ของหมู่ฟังก์ชัน O-C-O ที่ตำแหน่ง 676 และ 622 cm^{-1} ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบพิกของหมู่ฟังก์ชัน Ca-O ที่ตำแหน่ง 470 cm^{-1} ซึ่งพิกที่เกิดขึ้นของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่เตรียมได้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า (May et al., 2019; Thongkam et al., 2020) ทำให้สามารถยืนยันได้ว่า ตัวอย่างทั้งสามมีแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) เป็นองค์ประกอบอยู่



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ CA8, CA10 และ CA12 ในช่วง 400-4,000 cm^{-1}

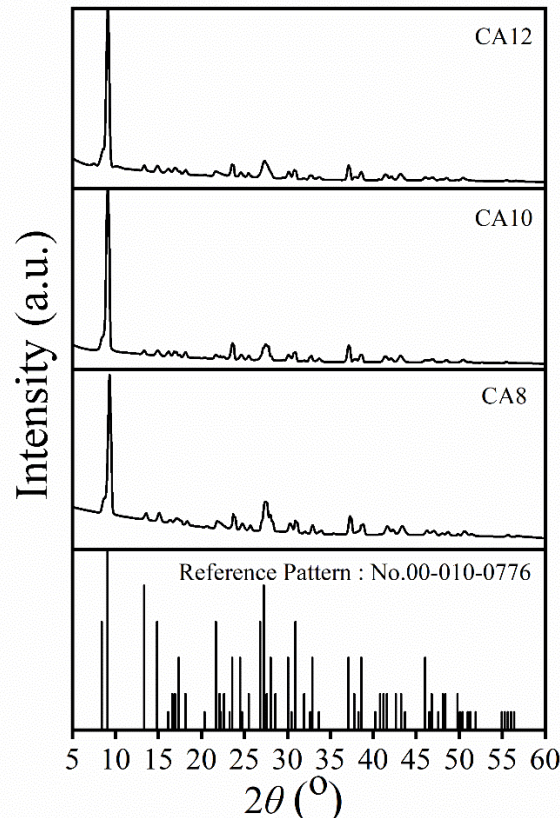
ตารางที่ 1 แสดงตำแหน่งพิกัดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และรูปแบบการสั่นของพันธะของตัวอย่าง CA8, CA10 และ CA12

รูปแบบการสั่น	Wavenumber (cm^{-1})
O-H stretching	3,368
C-H stretching of CH_3	2,935
C=O stretching of carbonyl group	1,647
Asymmetric stretching vibration of C-O	1,548
Symmetric stretching vibration of C-O	1,451
In plane bending vibration of CH_3	1,028
Symmetric C-C stretching vibration	946
Out of plane stretching of O-C-O group	676
Out of plane bending of O-C-O group	622
Ca-O Stretching	470

ผลการศึกษาคุณสมบัติความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD (X-ray Diffraction)

เพื่อยืนยันโครงสร้างของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ ตัวอย่างทั้ง 3 จึงถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยเชอรี่ (Golden apple snail shells) เป็นไปดังแสดงในรูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าทั้งตัวอย่าง CA8, CA10 และ CA12 เกิดพิกที่มีลักษณะคล้ายกันแสดงให้เห็นว่า มีการเรียงตัวของโครงผลึกแบบเดียวกัน ซึ่งพิกของตัวอย่างทั้งสามบนตำแหน่ง $2\theta = 9.10^\circ, 13.34^\circ, 14.90^\circ, 16.20^\circ, 16.64^\circ, 18.16^\circ, 21.66^\circ, 23.60^\circ, 24.66^\circ, 25.50^\circ, 27.48^\circ, 30.94^\circ, 32.80^\circ, 33.74^\circ, 37.14^\circ, 38.64^\circ, 41.40^\circ$ และ 43.18° ในไฟล์มาตรฐานของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (JCPDS No.00-010-0776) ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยนี้ มีโครงสร้างเช่นเดียวกับสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์จากแคลเซียมคาร์บอเนต

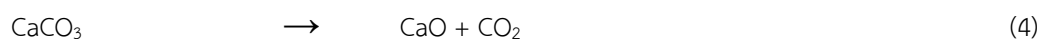
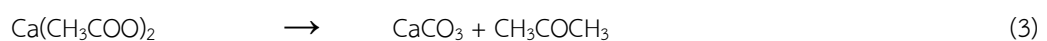
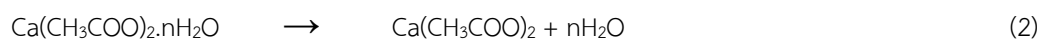
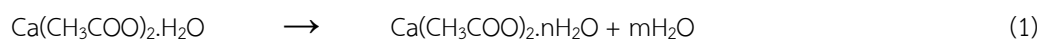
เกรตวิเคราะห์ในงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า (Anthony et al., 2007) ผลการวิเคราะห์ซึ่งสอดคล้องกับ FTIR ทำให้สามารถยืนยันได้ว่า สารประกอบที่สังเคราะห์ได้เป็นแคลเซียมอะซิเตทไฮเดรต ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) จริง

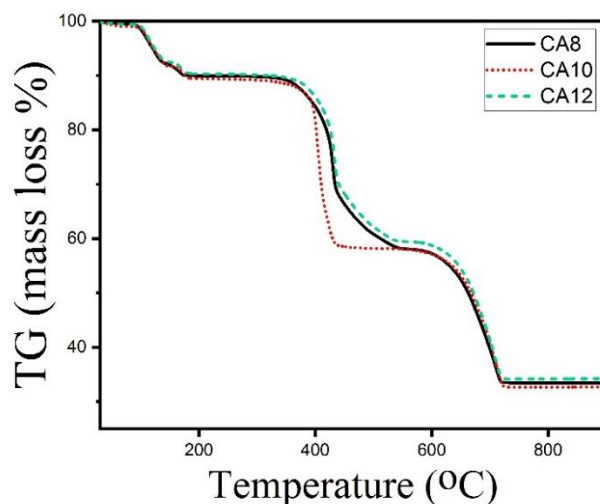


รูปที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CA8, CA10 และ CA12 เทียบกับ Reference pattern ของแคลเซียมอะซิเตทไฮเดรต JCPDS No.00-010-0776

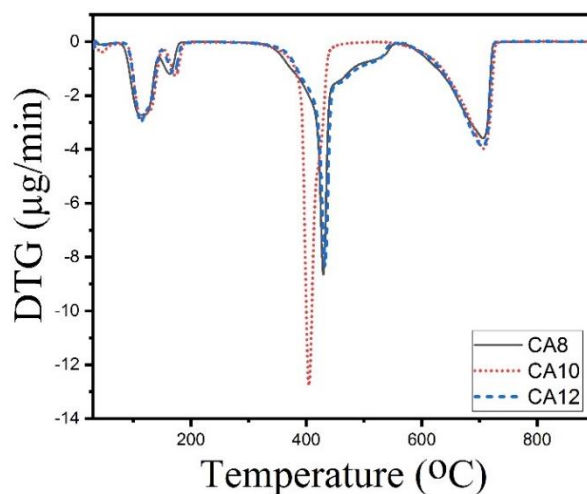
การสลายตัวทางความร้อนของแคลเซียมอะซิเตท

รูปที่ 4 แสดงร้อยละของน้ำหนักที่เหลือและรูปที่ 5 แสดงอัตราการสลายตัวขณะเกิดการสลายตัวทางความร้อนของ CA8, CA10 และ CA12 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ 30-900 °C ที่อัตรา 10 °C ต่อนาที การสลายตัวทางความร้อนเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเกิด Dehydration ที่อุณหภูมิ 90-200 °C ซึ่งพบพีคการสลายตัวสองพีคที่ตำแหน่ง 113 และ 169 °C การสลายตัวเป็นไปดังปฏิกิริยาที่ (1)-(2) สูญเสียน้ำหนักไป 10.33%, 10.68% และ 10.22% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับสัดส่วนของ H_2O ตามทฤษฎี ส่วนการสลายตัวขั้นที่ 2 นั้นเกิดการสลายตัวของ Calcium acetate anhydrous เกิดเป็น Calcium carbonate ซึ่งการสลายตัวเป็นไปดังปฏิกิริยาที่ (3) ที่ 300-550 °C สูญเสียน้ำหนักไป 32.42%, 31.50% และ 31.27% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ CH_3COCH_3 ทางทฤษฎี แต่ทว่าตำแหน่งพีคของการสลายตัวของ CA10 นั้นเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าตัวอย่าง CA8 และ CA12 (CA10 ที่ 404 °C, CA8 และ CA12 เกิดที่ 432 °C) และสุดท้ายการสลายตัวจาก CaCO_3 เป็น CaO ซึ่งการสลายตัวเป็นไปดังปฏิกิริยาที่ (4) เกิดขึ้นที่ 550-730 °C และสูญเสียน้ำหนักไป 23.78%, 25.13% และ 24.28% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ CO_2 ทางทฤษฎี โดยแต่ละตัวอย่างมีรูปแบบอัตราการสลายตัวใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชลล์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเดียวกัน (Thongkam et al., 2021) ยกเว้น CA10 ที่อัตราการสลายตัวในขั้นตอนที่สองเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงถึงความเสถียรของ Acetate anion ที่ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น





รูปที่ 4 ร้อยละของน้ำหนักที่เหลือขณะเกิดการสลายตัวทางความร้อนของ CA8, CA10 และ CA12 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ 30-900 °C ที่อัตรา 10 °C ต่อนาที



รูปที่ 5 อัตราการสลายตัวขณะเกิดการสลายตัวทางความร้อนของ CA8, CA10 และ CA12 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ 30-900 °C ที่อัตรา 10 °C ต่อนาที

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุทางเคมีด้วยเทคนิค XRF (X-ray Fluorescence)

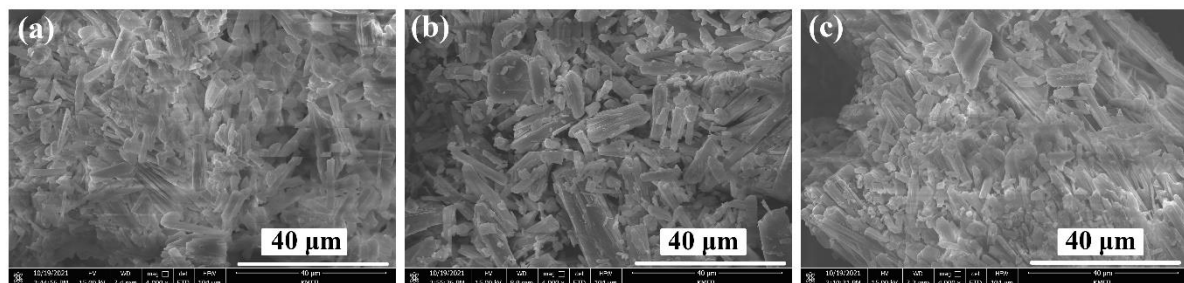
ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ CA8, CA10 และ CA12 ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence ซึ่งพบ CaO เป็นธาตุองค์ประกอบหลักประมาณ 95% นอกจากนี้ยังมีการพบสารเจือปนอื่น ๆ ได้แก่ Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, Cl, K₂O, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, ZnO และ SrO ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นแร่ธาตุที่มีอยู่ในเปลือกหอยแต่เดิมอยู่แล้ว และธาตุเหล่านี้เองก็เป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อพืชเช่นกัน นอกจากนี้ในผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนั้น ไม่พบธาตุที่เป็นอันตรายต่อการใช้ในพืชตามที่ US EPA บัญญัติ (Cr, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, and Se) (Okereafor et al., 2020) ดังนั้น สารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่เตรียมจากเปลือกหอยเชอร์รี่จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยน้ำสำหรับพืช

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ CA8, CA10 และ CA12

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณองค์ประกอบ / %		
	CA8	CA10	CA12
CaO	95.5	95.6	95.2
Na ₂ O	0.638	0.544	0.722
MgO	0.126	0.128	0.135
Al ₂ O ₃	0.587	0.568	0.620
SiO ₂	1.37	1.37	1.51
P ₂ O ₅	0.106	0.0968	0.116
SO ₃	0.0779	0.0787	0.0849
Cl	0.0148	0.0162	0.0202
K ₂ O	0.0627	0.0650	0.0634
TiO ₂	0.121	0.104	0.109
MnO	0.143	0.142	0.151
Fe ₂ O ₃	1.14	1.14	1.10
ZnO	0.0186	0.0185	0.0176
SrO	0.103	0.107	0.107

ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของแคลเซียมอะซิเตทโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

รูปที่ 6 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของ CA8, CA10 และ CA12 ซึ่งถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ซึ่งพบว่า CA8 (รูปที่ 6a) และ CA10 (รูปที่ 6b) มีลักษณะเป็นผลึกรูปทรงแท่งโดยส่วนใหญ่มีขนาด 5-20 μm มีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่บางส่วน แต่ CA12 (รูปที่ 6c) นั้นพบว่า ขนาดของผลึกและปริมาณการกระจายตัวของผลึกขนาดเล็กแตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด เกิดผลึกรูปทรงแท่งขนาดเล็กลงมากจนส่วนใหญ่มีขนาดเพียง 3-10 μm เท่านั้น และมีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ลดลง จากรูปที่ 6a, 6b และ 6c แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใส่ลดลง สารประกอบที่ได้จะมีการจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่มากขึ้น



รูปที่ 6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ CA8(a), CA10(b) และ CA12(c)

ร้อยละผลผลิตของการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท

ตารางที่ 3 แสดงระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของ CA8, CA10 และ CA12 ตัวแปรทั้งสามนี้เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการประเมินเพื่อหาความเข้มข้นที่ดีที่สุดสำหรับการใช้กรดอะซิติกในการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท โดยการเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดนั้นพิจารณาจากสารประกอบที่มีร้อยละผลผลิตสูง ร้อยละการ

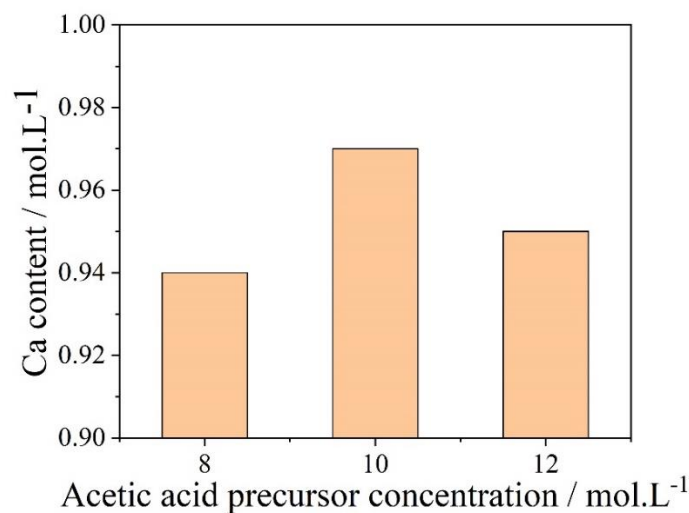
ละลายสูง และใช้ระยะเวลาสั้นในการทำปฏิกิริยาจนสิ้นสุด โดยจากผลการทดลองที่ได้สามารถเรียงลำดับปริมาณร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายจากมากไปน้อยได้เป็น CA10, CA12 และ CA8 ที่ร้อยละผลผลิตเป็น 92.24%, 91.69% และ 91.58% ตามลำดับ ส่วนร้อยละการละลายเป็น 96.03%, 94.39% และ 94.24% ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดที่ใช้ลดลง จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตทอยู่ที่ประมาณ 10 โมลาร์ ซึ่งส่งผลให้ได้ตัวอย่างที่มีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงที่สุด ดังนั้นจึงส่งผลให้การผลิตปุ๋ยน้ำจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่เตรียมโดยใช้เปลือกหอยเชอร์และกรดอะซิติกเข้มข้น 10 โมลาร์ มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเมื่อนำไปผลิตจริงในภาคอุตสาหกรรมหากต้องการเตรียมให้ได้ความเข้มข้นที่เท่ากัน

ตารางที่ 3 แสดงระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของ CA8, CA10 และ CA12

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด (นาท)	ร้อยละผลผลิต (%)	ร้อยละการละลาย (%)
CA8	76	91.58	94.24
CA10	48	92.24	96.03
CA12	31	91.69	94.39

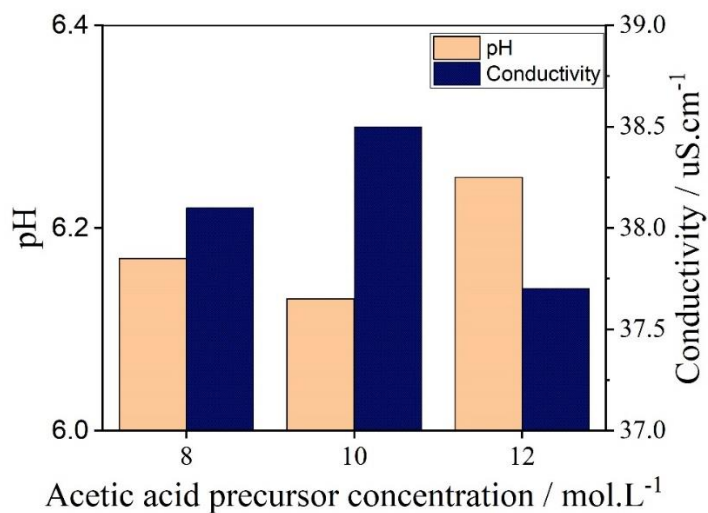
ผลการวิเคราะห์สารละลายแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอย

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในสารละลายด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) ดังรูปที่ 7 พบว่า ในสารละลายที่เตรียมจาก CA10 ปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด ซึ่งสารละลายแคลเซียมอะซิเตทที่เตรียมจาก CA8 และ CA12 มีปริมาณแคลเซียมน้อยกว่าเนื่องจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มีแคลเซียมคาร์บอเนตหลงเหลืออยู่บางส่วน ซึ่งสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตส่วนนี้ไม่ละลายน้ำจึงส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมในสารละลายต่ำลง



รูปที่ 7 แสดงปริมาณแคลเซียมในสารละลายแคลเซียมอะซิเตทจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ผลการวิเคราะห์ pH และการนำไฟฟ้าของสารละลายแคลเซียมอะซิเตทดังรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า สารละลายที่เตรียมโดยใช้ CA10 มีค่า pH ต่ำที่สุดและการนำไฟฟ้าสูงที่สุด (6.13 และ 38.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ซึ่ง pH ที่ลดลงสอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า สารละลายแคลเซียมอะซิเตทที่เตรียมจาก CA10 มีปริมาณไอออนละลายอยู่ในสารละลายมากที่สุด



รูปที่ 8 ค่า pH และการนำไฟฟ้าของสารละลายแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่

บทสรุป

แคลเซียมอะซิเตทถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาระหว่างผงแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เตรียมจากเปลือกหอยเชอรี่กับกรดอะซิติกเข้มข้น 8, 10 และ 12 โมลาร์ ผล FTIR และ XRD ที่ได้ยืนยันว่า สารประกอบที่สังเคราะห์ได้เป็นแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) โดยลักษณะสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นว่า สารประกอบที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใส่ลดลง เมื่อใช้กรดอะซิติก 10 โมลาร์ จะส่งผลให้ตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นที่สูงเกินไป (12 โมลาร์) ทำให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนที่รุนแรงจนกรดอะซิติกบางส่วนระเหยไป ส่งผลให้แคลเซียมคาร์บอเนตบางส่วนเหลืออยู่ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF ของตัวอย่างทั้ง 3 ผลที่ได้สอดคล้องกันคือ CA10 ปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดและสารเจือปนน้อยที่สุด รวมถึงไม่พบธาตุที่เป็นอันตรายต่อการใช้ในพืช ดังนั้นจึงได้ข้อสรุปว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตทคือ 10 โมลาร์ ซึ่งให้สารประกอบที่มีร้อยละผลผลิต ร้อยละการละลายและปริมาณแคลเซียมสูง นอกจากนี้เมื่อนำตัวอย่างสารประกอบที่สังเคราะห์ได้มาทดลองเตรียมสารละลายแคลเซียมและนำไปวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่อง AAS พบว่า ในสารละลายที่เตรียมจากแคลเซียมอะซิเตทซึ่งสังเคราะห์โดยใช้กรดอะซิติก 10 โมลาร์ มีปริมาณแคลเซียมที่พบสูงที่สุด ทำให้ได้ข้อสรุปว่า การเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมโดยใช้เปลือกหอยเชอรี่และกรดอะซิติกเข้มข้น 10 โมลาร์ นั้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้ต่อยอดในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียม ซึ่งนอกจากจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตปุ๋ยถูกลงแล้วยังเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติจากการใช้แร่แคลเซียมจากเหมืองแร่อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เขียนบทความวิจัยและบทความวิชาการที่ถูกใช้อ้างอิงในบทความฉบับนี้ รวมถึงขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

- ยงยุทธ โอสมสภ. (2543). ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 424.
- Anthony W.M., Ray L.F. and Eric R.W. (2007). A spectroscopic study of the mineral paceite (calcium acetate). *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 67: 649-661.
- Bette S., Stelzner J. and Eggert G. (2020). Corrosion of heritage objects: collagen-like triple helix found in the calcium acetate hemihydrate crystal structure. *Angewandte Chemie International Edition.* 59(24): 9438-9442.
- Borchert R. (1986) Calcium acetate induces calcium uptake and formation of calcium-oxalate crystals in isolated leaflets of *Gleditsia triacanthos* L. *Planta.* 168: 571-578.
- Chan S., Au K., Francis R. S., Mudge D. W., Johnson D. W. and Pillans P. I. (2017). Phosphate binders in patients with chronic kidney disease. *Aust Prescr.* 40(1): 10-14.
- Dionysiou D., Tsianou M. and Botsaris G. (2000). Extractive crystallization for the production of calcium acetate and magnesium acetate from carbonate sources. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 39(11): 4192-4202.
- Lakaew K., Akeprathumchai S. and Thiravetyan P. (2020). Foliar spraying of calcium acetate alleviates yield loss in rice (*Oryza sativa* L.) by induced anti-oxidative defence system under ozone and heat stresses. *Annals of Applied Biology.* 178: 414-426.
- Lu J. Y., Carter E. and Chung R. A. (1980) Use of calcium salts for soybean curd preparation. *Journal of Food Science.* 45(1): 32-34.
- May Y., Nyein O.M. and Khan N.N. (2019). Comparative study on the characteristics of eggshell wastes for preparation of calcium acetate. *Journal of the Myanmar Academy of Arts and Science.* 17(1A): 335-353.
- Nolan C.R. and Qunibi W.Y. (2003). Calcium salts in the treatment of hyperphosphatemia in hemodialysis patients. *Current Opinion in Nephrology and Hypertension.* 12(4): 373-379.
- Okereafor U., Makhatha M., Mekuto L., Uche-Okereafor N., Sebola T. and Mavumengwana V. (2020). Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 17: 1-24.
- Omran K.H., Mostafa M., Abd El-sadek M.S., Hemeda O.M. and Ubc R. (2020). Effects of Ca doping on structural and optical properties of PZT nanopowders. *Results in Physics.* 19: article 103580.
- Price N., Fei T., Clark S. and Wang T. (2020). Application of zinc and calcium acetate to precipitate milk fat globule membrane components from a dairy by-product. *Journal of Dairy Science.* 103(2): 1303-1314.
- Safronova T.V., Mukhin E.A., Putlyaev V.I. Knotko A.V., Evdokimov P.V., Shatalova T.B., Filippov Y.Y., Sidorov A.V. and Karpushkin E.A. (2017). Amorphous calcium phosphate powder synthesized from calcium acetate and polyphosphoric acid for bioceramics application. *Ceramics International.* 43(1): 1310-1317.
- Seesanong S., Laosinwattana C., Chaiseeda K. and Boonchom B. (2019). A simple and rapid transformation of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) shells to calcium carbonate, monocalcium and tricalcium phosphates. *Asian Journal of Chemistry.* 31(11): 2522-2526.
- Sin T.S. (2003). Damage potential of the golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in irrigated rice and its control by cultural approaches. *International Journal of Pest Management.* 49(1): 49-55.

- Sunti P., Wuttichai R., Phongsakorn P., Preecha M., Vinich P. and Boonyawan Y. (2022). Biodiesel production process catalyzed by acid-treated golden apple snail shells (*Pomacea canaliculata*)-derived CaO as a high-performance and green catalyst. Engineering and Applied Science Research. 49(1): 36-46.
- Steciak J., Levendis Y.A. and Wise D.L. (1995). Effectiveness of calcium magnesium acetate as dual SO₂ - NO_x emission control agent. American Institute of Chemical Engineers Journal. 41(3): 712-722.
- Thongkam M., Saelim J., Boonchom B., Seesanong S., Chaiseeda K., Laohavisuti N., Bunya-atichart K., Boonmee W. and Taemchuay D. (2021). Simple and rapid synthesis of calcium acetate from scallop shells to reduce environmental issues. Adsorption Science & Technology. 1-9.
- Uysal Z.D., Doğan Ö.M. and Uysal B.Z. (2020). Kinetics of chemical absorption of carbon dioxide into aqueous calcium acetate solution. International Journal of Chemical Kinetics. 52(4): 251-265.

Received: March 14, 2023; Revised: November 16, 2023; Accepted: December 19, 2023

การศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ นิเวศวิทยา เรณูวิทยา และฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย
ของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) ในอำเภอมืองและอำเภอกาญจนดิษฐ์
จังหวัดสุราษฎร์ธานี

The diversity study of plant, ecology, palynology and anti-bacteria of
Drosera burmanni Vahl in Mueang Surat Thani and Kanchanadit District,
Surat Thani Province

ปริญญ์ สุกแก้วมณี^{1*} และอารยา ปราณประวีตร¹
Parinya Sukkaewmanee^{1*} and Araya Pranprawit¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

¹Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Suratthani Province

*Corresponding Author. E-mail Address: parinya.suk@sru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ นิเวศวิทยา เรณูวิทยาและฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) ในป่าดั้งเดิม และป่าที่ถูกคุกคามในอำเภอมืองและอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นพืชที่มีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (Least concern) ในฐานข้อมูล IUCN โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (LM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (SEM) ผลการศึกษาพรรณไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด (IVI) คือ กระถิน (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) เสม็ดขาว (*Melaleuca quinquenervia* (Cav.) J.T. Blake) ปาล์มน้ำมัน *Elaeis guineensis* Jacq. จากการศึกษาค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของชนิดพรรณไม้ (H) ไม้ต้น มีค่า 2.43 ในอำเภอมือง และ 3.43 อำเภอกาญจนดิษฐ์ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพรรณ (E) ไม้ต้น มีค่า 0.38 ในอำเภอมือง และ 0.56 ในพื้นที่ป่าดั้งเดิมอำเภอกาญจนดิษฐ์ และจากการศึกษาเรณูวิทยา พบว่า ละอองเรณูต้นหยาดน้ำค้าง มีลักษณะเรณูเป็นเม็ดสี่เหลี่ยมเรียงติดกัน ชนิดของช่องเปิดเป็นแบบกลมผสมรี จำนวน 3 ช่องเปิด (3-Colpate) มีลวดลายผนังชั้นนอกเป็นแบบ มีลักษณะผิวมีหนามแบบแหลม (Acuminate) มีลวดลายแบบตาข่าย (Reticulate) มีความหนา 1-2 ไมครอน ขนาดเรณูเฉลี่ย 35-50 ไมครอน นอกจากนั้นมีการศึกษาสารสกัดหยาดน้ำค้างในเอทานอล ที่พบในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในการยับยั้งเชื้อเท่ากับ 10.33 ± 1.15 มิลลิเมตร ผลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์ของพืชพื้นถิ่นจังหวัดสุราษฎร์ธานี

คำสำคัญ: หยาดน้ำค้าง นิเวศวิทยา เรณูวิทยา ฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย

Abstract

The objective of this research was to study diversity of plant, ecology, pollen morphology, and antibacterial of the Burmese sundew (*Drosera burmanni* Vahl) in Mueang and Kanchanadit District, Surat Thani Province, Least concern in IUCN database. Starting from the survey to collect dry samples for ecology studies on growth and distribution in Surat Thani Province as well as palynology study. The pollen of Burmese sundew was undertaken by the acetolysis method and their pollen morphologies were examined by Light Microscope (LM) and Scanning Electron Microscope (SEM). The result of Important Value Index (IVI) showed the most important plants to be *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) J.T. Blake. and *Elaeis guineensis* Jacq, respectively. The Shannon and Wiener, diversity index (H) of trees were 2.43 (Mueang), 3.46 (Kanchanadit) while evenness index was 0.38 (Mueang) and 0.56 (Kanchanadit). The results showed that the pollen of Burmese sundew had four microspores (pollen tetrads), the aperture types are 3-Colpate. The exine sculpturing is acuminate (reticulate type), with a thickness of 1-2 microns. The average pollen size is 35-50 microns. Furthermore, the results showed that the ethanolic extract from Burmese sundew was effective in inhibiting bacteria, *Staphylococcus aureus*, with a mean inhibition diameter of 10.33 ± 1.15 mm. The results of this study can be used as fundamental data for the conservation and utilization of endemic plants in Surat Thani Province.

Keywords: *Drosera burmanni* Vahl., Ecology, Pollen morphology, Antibacteria

บทนำ

จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย มีพื้นที่ป่าและมีความหลากหลายทางชีวภาพอยู่มาก จากการลดลงของพื้นที่ป่าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเมื่อปี พ.ศ. 2516 จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีพื้นที่ป่าทั้งหมด 3,468,365 ไร่ หรือร้อยละ 44.21 ของพื้นที่จังหวัด ล่าสุดปี พ.ศ. 2565 จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีพื้นที่ป่าไม้เหลืออยู่เพียง 2,360,298.05 ไร่ หรือร้อยละ 28.75 ของพื้นที่จังหวัด การศึกษาพรรณไม้ในป่าดั้งเดิมและพรรณไม้ในป่าที่ถูกคุกคาม จึงเป็นสิ่งสำคัญของการอนุรักษ์ไม้พื้นถิ่น เช่น ต้นหยาดน้ำค้าง ก่อนที่จะสูญพันธุ์ (สำนักงานจัดการที่ดิน กรมป่าไม้, 2565) ต้นหยาดน้ำค้าง จอกบววย หรือหมอกบววย หรือ *Burmese sundew* (*Drosera burmanni* Vahl) เป็นพืชกินแมลงขนาดเล็ก (Small insectivorous herbs) โดยเป็นพืชที่จัดอยู่ในกลุ่ม LC (Least concern) ของ IUCN (3.1) ต้นหยาดน้ำค้างเป็นพืชกินแมลงแต่กลับเป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศ พืชในวงศ์นี้พบการกระจายพันธุ์ได้ทั่วโลก ตั้งแต่ อินเดีย ศรีลังกา อินโดจีน มาเลเซีย ญี่ปุ่น ตลอดจนถึงทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของออสเตรเลีย โดยพบการเจริญเติบโตกระจายพันธุ์ประมาณ 194 ชนิดทั่วโลก โดยสำหรับในประเทศไทยพบได้ 3 ชนิด คือ หยาดน้ำค้าง (*Drosera indica* L.) หยาดไฟตะกาด (*D. peltata* Sm.) และต้นหยาดน้ำค้าง จอกบววย (*D. burmanni* Vahl) โดยพบการกระจายพันธุ์ทางภาคเหนือจนถึงภาคใต้ (Larsen, 1987)

สถานการณ์ปัจจุบันต้นหยาดน้ำค้าง เป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศและเป็นพืชกินแมลงขนาดเล็กที่มีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ สาเหตุจากการถูกคุกคามจากการถูกทำลายแหล่งที่อยู่ตามธรรมชาติและการใช้ยาฆ่าหญ้า การใช้ปุ๋ยเคมี สารเคมีต่างๆ เนื่องจากต้นหยาดน้ำค้าง จอกบววยมีลำต้นขนาดเล็ก โตช้า และไม่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง จึงมักถูกมองข้ามและไม่เป็นที่สนใจ มีการศึกษาที่ประเทศมาดากัสกาพบว่า เป็นพืชที่หายากใกล้สูญพันธุ์และควบคุมจำนวนประชากร มด แมลงขนาดเล็ก ให้สมดุลในระบบนิเวศ (Fleischmann, 2020)

ในการศึกษาวิวัฒนาการเพื่อศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้ นิเวศวิทยา เรณูวิทยา และฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) ในป่าดั้งเดิม และป่าที่ถูกคุกคามในอำเภอเมืองและอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำหรับเป็นข้อมูลสนับสนุนการวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น การสืบพันธุ์และการขยายพันธุ์ของเรณูเป็นแนวทางในการอนุรักษ์ต้นหยาดน้ำค้าง ที่มีความสำคัญด้านชีววิทยา การเกษตร เกษตรศาสตร์ และสาขาที่เกี่ยวข้อง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาทางนิเวศวิทยา

โดยใช้วิธีการศึกษาทางนิเวศวิทยา เริ่มต้นจากการออกภาคสนามเพื่อสำรวจพื้นที่ป่าสองบริเวณ คือบริเวณป่าดั้งเดิมที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ (บ้านทุ่งตาเข อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี) และบริเวณที่ป่าที่กำลังถูกคุกคาม (บ้านท่าสน ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี) โดยวางแผนตัวอย่าง ขนาด 20x20 เมตร จำนวน 10 แปลง เพื่อสำรวจพรรณไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป และพรรณไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 เซนติเมตร ลงมาที่มีความสูงระดับอก (130 เซนติเมตร) บันทึกขนาดเส้นรอบวง ความสูง นับจำนวน และชื่อพรรณไม้ และศึกษาไม้พื้นล่างในแปลงย่อยขนาด 5x5 เมตร จำนวนพื้นที่ละ 10 แปลง (ไม้พื้นล่างคือไม้ล้มลุก ไม้เลื้อยและกล้าไม้) บันทึกจำนวนชนิดและจำนวนต้นไม้พื้นล่างในแปลงนำตัวอย่างพืชมาทำพรรณไม้อ้างอิง เพื่อใช้ในการจำแนกชนิด (Species identification) โดยใช้รูปฐานและเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ เช่น Flora of Thailand ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (ดอกรัก, 2554; ราชันย์ และสมราน, 2557; วรลต์, 2562) เป็นต้น จากการเก็บตัวอย่างออกภาคสนามเพื่อสำรวจพื้นที่ทั้งสองบริเวณ คือ บริเวณป่าดั้งเดิมที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ (บ้านทุ่งตาเข อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี) และบริเวณที่ป่ากำลังถูกคุกคาม (บ้านท่าสน ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี) และนำตัวอย่างพรรณไม้อ้างอิงเก็บไว้ที่ห้องพิพิธภัณฑ์พืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

การศึกษาทางนิเวศวิทยาของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) โดยศึกษาจำนวนประชากรพืชกินแมลง ต่อหน่วยพื้นที่โดยนับจำนวนพืชจากแปลงตัวอย่างย่อย สำรวจพื้นที่ที่สุ่มวางในแปลง ขนาด 1x1 เมตร จำนวน 10 แปลง ในพื้นที่บริเวณป่าดั้งเดิมที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ (บ้านทุ่งตาเข อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี) และบริเวณที่ป่าที่กำลังถูกคุกคาม (บ้านท่าสน ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางนิเวศวิทยา (นิวัติ, 2548) โดยศึกษาวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญ (Importance Value Index: IVI) ค่าดัชนีความหลากหลายชนิด Shannon-Wiener index (H) และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพรรณ (Evenness Index: E) ระดับความมากมาย (Richness) โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

1. การประเมินค่าดัชนีความสำคัญของพรรณพืช (Importance Value Index: IVI) คือผลรวมของค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของสังคมพืช ดังนี้

1.1 ความหนาแน่น (Stand Density: D) และความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density: RD)

ความหนาแน่น = $\frac{\text{จำนวนต้นของพรรณไม้ทั้งหมด}}{\text{พื้นที่รวมที่ทำการสำรวจทั้งหมด}}$ (ต้น/ไร่)

พื้นที่รวมที่ทำการสำรวจทั้งหมด

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ = $\frac{\text{ความหนาแน่นของพรรณไม้ชนิดหนึ่ง}}{\text{ความหนาแน่นของพรรณไม้ทุกชนิด}}$ x 100, (เปอร์เซ็นต์)

ความหนาแน่นของพรรณไม้ทุกชนิด

1.2 ความถี่ (Frequency: F) และความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency: RF) คือร้อยละของความถี่ของพืชชนิดหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลรวมความถี่ของพืชทุกชนิด (%)

ความถี่ = $\frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่พบพรรณไม้ชนิดหนึ่ง}}{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด}}$ (ต้น)

จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด

ความถี่สัมพัทธ์ = $\frac{\text{ความถี่ของพรรณไม้ชนิดหนึ่ง}}{\text{ผลรวมความถี่ของพรรณไม้ทุกชนิด}}$ x 100

ผลรวมความถี่ของพรรณไม้ทุกชนิด

1.3 ความเด่น (Dominance: Do) ความเด่นในด้านพื้นที่หน้าตัด (Basal Area: BA) คือ พื้นที่หน้าตัดของไม้ต้นที่วัดระดับอก (1.30 เมตร) ต่อพื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ต้นทุกชนิดที่ทำการสำรวจ

ความเด่น (ในด้านพื้นที่หน้าตัด) = $\frac{\text{พื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ต้นชนิดหนึ่ง}}{\text{พื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ต้นทั้งหมด}}$

พื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ต้นทั้งหมด

จากนั้นนำความเด่นที่ได้ไปหาความเด่นสัมพัทธ์ (Relative Dominance: RDo) เพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์ดัชนีความสำคัญของพรรณพืช

ความเด่นสัมพัทธ์ = $\frac{\text{ความเด่นของพรรณไม้ชนิดหนึ่ง}}{\text{ผลรวมความเด่นรวมของพรรณไม้ทุกชนิด}}$ x 100

ผลรวมความเด่นรวมของพรรณไม้ทุกชนิด

- 1.4 ค่าดัชนีความสำคัญของพรรณพืช (Importance Value Index: IVI) $IVI = RD + RF + RDo$
- 1.5 ค่าดัชนีความสำคัญของไม้พื้นล่าง (Importance Value Index: IVI) $= RD + RF$
2. ค่าความหลากหลายของชนิดพันธุ์ (Species diversity) คำนวณจากจำนวนชนิดที่ปรากฏในสังคมและจำนวนต้นไม้ที่มีในแต่ละชนิด ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้
Shannon-Wiener index (H) (Magurran, 1988)

$$H = -\sum_{i=1}^s (p_i) (\ln p_i)$$

H = ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของชนิดพรรณไม้
 p_i = สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม้ชนิดหนึ่ง i ต่อจำนวนต้นไม้ทั้งหมด
s = จำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด
3. ค่าความสม่ำเสมอของชนิดพรรณไม้ (Evenness Index: E) (นิวัติ, 2548) มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$E = H / \ln S$$

H = Shannon-Weaver Index
S = จำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด

เก็บตัวอย่างพรรณไม้ รวมทั้งต้นหยาดน้ำค้างเพื่อทำพรรณไม้อ้างอิง และเก็บไว้ที่ห้องพิพิธภัณฑ์พืช สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ตลอดจนบันทึกข้อมูลสิ่งปกคลุมผิวดินและเรือนยอดต้นไม้ในแต่ละแปลงตัวอย่างของทั้งสองพื้นที่ตามเกณฑ์ (สมศักดิ์, 2550)

การศึกษาเรณูวิทยา

โดยทำการเก็บตัวอย่างของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) ในพื้นที่ป่าที่ถูกคุกคาม ในอำเภอมะนัง และป่าดงดิบในอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจัดทำพรรณไม้อ้างอิง เปรียบเทียบกับตัวอย่างพรรณไม้แห้ง ณ หอพรรณไม้กรมป่าไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช (Forest Herbarium-BKF) เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร สำหรับการศึกษาด้านเรณูวิทยาโดยเก็บส่วนของดอกจากต้นหยาดน้ำค้างและบางส่วนเตรียมจากตัวอย่างอ้างอิง (Voucher specimen) เก็บไว้ ณ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี การเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีดัดแปลงจากวิธีอะซิโตนไลซิส (Acetolysis) Erdtman (1972) ศึกษาเรณูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope: LM) ที่กำลังขยาย x40, x100 ด้วยกล้อง Nikon eclipss E600 LM ตลอดจนถ่ายภาพด้วยกล้อง Cannon EOS 1100D digital camera สำหรับการศึกษาเรณูวิทยาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FESEM) ณ ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยนับจำนวนเรณู 20 เรณูต่อตัวอย่างพืช บันทึกและบรรยายลักษณะเรณูวิทยา ได้แก่ ขนาด รูปร่างเรณู ช่องเปิด (รูปแบบและจำนวน) และลวดลายบนผนังชั้นนอกตามวิธี ประพนอม และพันธุ์วา (2556) และ Erdtman (1972)

การศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาดน้ำค้าง

การเตรียมสารสกัดต้นหยาดน้ำค้าง โดยนำต้นหยาดน้ำค้างมาล้างทำความสะอาดและผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และชั่งน้ำหนัก 200 กรัม แช่ด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:1) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจะทำการกรองหยาดด้วยผ้าขาวบางและนำไปกรองละเอียดด้วยกระดาษกรอง (Whatman No.1) ทำซ้ำ 2 ครั้ง จากนั้นนำสารสกัดต้นหยาดน้ำค้างไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) บันทึกน้ำหนักของสารสกัดหยาด (Crude extract) ที่ได้ และเก็บสารสกัดในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

ศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* จากสารสกัดหยาดต้นหยาดน้ำค้าง ด้วยวิธี Agar well diffusion ตามวิธีของ Silaket and Pakdeedashakiat (2017) โดยเตรียมเชื้อทดสอบให้มีจำนวนเซลล์ประมาณ 10^8 colony forming unit (CFU) ต่อ มิลลิลิตร โดยเทียบกับ McFarland's standard No.0.5 นำเชื้อไปเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหารเพาะเชื้อ (Mueller-Hinton Agar: MHA) จากนั้นใช้จุกเจาะรู (Cork borer) ที่ปราศจากเชื้อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะลงใน

อาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 4 หลุมต่อจานเพาะเชื้อ และดูดสารสกัดหยาบของต้นหยาดน้ำค้างที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตรต่อหลุม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้ น้ำกลั่นปราศจากเชื้อและเอทานอล 95% เป็น Negative control และยาปฏิชีวนะ Ampicilin เป็น Positive control นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตและบันทึกผลการทดลองโดยวัดขนาดโซนใสหรือบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ที่เกิดขึ้นทั้ง 3 ด้านและนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย

ความหลากหลายทางนิเวศวิทยาของพรรณไม้

จากการศึกษาชนิดพรรณไม้ และค่าดัชนีความสำคัญของพืชต้นไม้อินแปลงที่ 1 ป่าที่ถูกคุกคาม (บ้านท่าสน ต.มะขามเตี้ย อำเภอเมือง) พบพรรณไม้ 16 วงศ์ 20 สกุล 26 ชนิด และแปลงที่ 2 ป่าดั้งเดิม (บ้านทุ่งตาแซน ตำบลพลาญวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์) พบพรรณไม้ 11 วงศ์ 14 สกุล 18 ชนิด (ตารางที่ 1) และจากการวางแผนสำรวจพรรณไม้ทั้งสองแปลง พบว่า พรรณไม้ต้นมีความหนาแน่น เท่ากับ 103 ต้นต่อไร่ (แปลงที่ 1) และ 83 ต้นต่อไร่ (แปลงที่ 2) และชนิดพรรณไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) พืชในแปลงที่ 1 มีค่าสูงสุดคือ กระถิน (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) มีค่าเท่ากับ 43.68 รองลงมาคือ เสม็ดขาว (*Melaleuca quinquenervia* (Cav.) J.T. Blake) มีค่าเท่ากับ 39.28 และพืชในแปลงที่ 2 ที่มีค่าสูงสุดคือ เสม็ดขาว (*Melaleuca quinquenervia* (Cav.) J.T. Blake) มีค่าเท่ากับ 87.97 รองลงมาคือ โคลงเคลง *Melastoma malabathricum* L. มีค่าเท่ากับ 87.93 (ตารางที่ 2)

ไม้พื้นล่างที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดในแปลงที่ 1 คือ สาบเสือ มีค่าเท่ากับ 25.16 รองลงมาคือ หม้อข้าวหม้อแกงลิง และ กระดุมทองเลื้อย มีค่าเท่ากับ 23.34 และ 23.29 ตามลำดับ และไม้พื้นล่างที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดในแปลงที่ 2 คือ หม้อข้าวหม้อแกงลิงศรีสุราษฎร์ มีค่าเท่ากับ 23.96 รองลงมาคือ ยาน และ โชน มีค่าเท่ากับ 23.50 และ 23.39 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) และจากการศึกษาค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของพืชพรรณไม้ มีค่าเท่ากับ 2.43 (แปลงที่ 1) 3.46 (แปลงที่ 2) จากผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีความหลากหลายชนิดพรรณไม้ต้นแปลงที่ 2 มีค่ามากกว่าแปลงที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 1 รายชื่อชนิดพืชที่สำรวจในตัวอย่างแปลงศึกษาทั้งสองแห่ง

ชนิดพืชที่สำรวจ		หมายเลขตัวอย่าง (Voucher)	แปลงที่พบ	
ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์		1	2
1. กระถิน สะตอเบา <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Leguminosae-Mimosoideae	P.K.111	✓	
2. สาบเสือ <i>Chromolaena odoratum</i> (L.) R.M. King & H. Rob	Asteraceae	P.K.112	✓	
3. กระดุมทองเลื้อย <i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Prusle	Asteraceae	P.K.113	✓	
4. เสม็ดขาว <i>Melaleuca quinquenervia</i> (Cav.) J.T. Blake	Myrtaceae	P.K.114	✓	✓
5. โคลงเคลง <i>Melastoma malabathricum</i> L.	Melastomataceae	P.K.115	✓	✓
6. สนทราย สนนา <i>Baeckea frutescens</i> L.	Myrtaceae	P.K.116	✓	
7. เฟิร์น <i>Pteridium</i> sp.	Dennistaedtiaceae	P.K.117	✓	
8. ลูกโห้ <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> (Aiton) Hassk	Myrtaceae	P.K.118	✓	✓
9. หม้อข้าวหม้อแกงลิง <i>Nepenthes mirabilis</i> var. <i>mirabilis</i> (Lour.) Druce	Nepenthaceae	P.K.119	✓	
10. หม้อข้าวหม้อแกงลิงศรีสุราษฎร์ <i>N. Suratensis</i> M.Catal	Nepenthaceae	P.K.120		✓
11. มะพร้าว <i>Cocos nucifera</i> L.	Araceae	P.K.121	✓	

ชนิดพืชที่พบ	ความหนาแน่น (ต้นต่อไร่)		RD		RF		RDo		IVI	
	แปลงที่		แปลงที่		แปลงที่		แปลงที่		แปลงที่	
ชื่อวิทยาศาสตร์	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
เสม็ดขาว <i>Melaleuca quinquenervia</i> (Cav.) J.T. Blake	14.71	22.94	16.53	28.73	8.71	29.86	14.04	29.38	39.28	87.97
ปาล์มน้ำมัน <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	11.60	3.76	12.57	14.42	7.43	13.83	11.25	7.94	31.29	36.19
ลูกฉิ่ง มะเดื่อ <i>Ficus botryocarpa</i> Miq	11.24	-	11.46	-	7.35	-	11.17	-	29.98	-
จิกนา <i>Barringtonia acutangula</i> (L.) Gaerth	10.93	-	10.87	-	7.28	-	10.93	-	29.08	-
เพกา <i>Oroxylum indicum</i> (L.) Benth. ex Kurz.	9.72	-	10.14	-	7.20	-	10.15	-	27.49	-
มะพร้าว <i>Cocos nucifera</i> L.	9.62	-	10.17	-	7.20	-	10.09	-	27.46	-
โคลงเคลง <i>Melastoma malabathricum</i> L.	9.61	22.75	10.06	26.14	7.14	29.19	9.20	32.06	26.40	87.93
ลูกโห้ <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> (Aiton) Hassk	9.59	21.94	9.52	25.76	7.54	28.63	8.02	33.52	25.08	87.91
สนทราย <i>Baeckea frutescens</i> L.	8.71	-	4.38	-	3.39	-	3.86	-	11.63	-
กล้วย <i>Musa acuminata</i> Colla.	6.27	-	3.84	-	2.77	-	2.02	-	8.63	-
รวม			100	100	100	100	100	100	300	300

ตารางที่ 3 ชนิด และค่าดัชนีความสำคัญของพืชพื้นล่างในแปลงที่ 1 และ แปลงที่ 2 (Relative Density: RD; Relative Frequency: RF Relative และ Importance Value Index: IVI)

ชนิดพืชที่พบ	ความหนาแน่น (ต้นต่อไร่)		RD		RF		IVI	
	แปลงที่		แปลงที่		แปลงที่		แปลงที่	
ชื่อวิทยาศาสตร์	1	2	1	2	1	2	1	2
สาบเสือ <i>Chromolaena odoratum</i> (L.) R.M. King & H. Rob	5.19	-	13.74	-	11.42	-	25.16	-
หม้อข้าวหม้อแกงลิง <i>Nepenthes mirabilis</i> var. <i>mirabilis</i> (Lour.) Druce	4.98	-	12.93	-	10.41	-	23.34	-

ชนิดพืชที่พบ	ความหนาแน่น (ต้นต่อไร่)		RD		RF		IVI	
	แปลงที่		แปลงที่		แปลงที่		แปลงที่	
ชื่อวิทยาศาสตร์	1	2	1	2	1	2	1	2
หม้อข้าวหม้อแกงลิงศรีสุ ราชกูร์ <i>N. suratensis</i> M.Catal.	-	6.84	-	12.57	-	11.39	-	23.96
กระดุมทองเล็ก <i>Sphagneticala trilobata</i> (L.) Prusle	4.83	-	11.94	-	11.35	-	23.29	-
เฟิร์น <i>Pteridium</i> sp.	4.75	-	11.32	-	11.97	-	23.29	-
ย่านลิเภา <i>Lygodium</i> <i>polystachyum</i> Wall ex Moore	4.53	-	11.40	-	11.84	-	23.24	-
ย่าน <i>L. flexuosum</i> (L.) Sw	4.72	4.68	11.33	11.82	11.75	11.68	23.08	23.50
กระฉูด ลิเภาใหญ่ <i>L.</i> <i>salicifolium</i> C.Presl	4.98	-	11.38	-	11.85	-	23.23	-
โชน <i>Dicranopteris</i> <i>linearis</i> (Burm.f.) Underw	4.74	4.65	6.37	11.78	6.74	11.61	20.11	23.39
ยายแพรก <i>Phymatosorus</i> <i>scolopendria</i> (Burm.f.) Pic.Serm	4.81	-	3.32	-	2.64	-	5.96	-
กระเทียมนา <i>Xyris indica</i> L.	-	4.96	-	10.29	-	11.87	-	22.16
หญ้าห้วงอก <i>Eriocaulon</i> sp.	-	3.56	-	10.27	-	11.74	-	22.01
กก <i>Cyperus</i> sp.	0.96	-	1.14	-	2.84	-	3.98	-
กกกลม <i>Scleria</i> sp.	-	2.80	-	4.26	-	6.68	-	21.85
กกแบน <i>Lipocarpha</i> sp.	-	2.77	-	0.24	-	0.54	-	16.68
ผักแขยง <i>Limnophila</i> <i>aromatic</i> (Lam.) Merr.	-	2.37	-	0.27	-	0.41	-	15.55
กก <i>L. Cephalantha</i> Lam,	-	2.31	-	0.45	-	0.38	-	14.49
หญ้าจาม <i>L. micrantha</i> (Benth.) Benth	-	0.51	-	0.76	-	0.39	-	12.17
กกตุ่มหู <i>Cyperus kyllingia</i> Endl.	0.16	-	0.18	-	0.89	-	1.07	-
กุดเกียะ <i>Pteridium</i> <i>aquilinum</i> (L.) Kuhn	0.16	-	0.18	-	0.88	-	1.07	-
ไมยราบเครือ <i>Mimosa</i> <i>invisa</i> Mart.	0.16	-	0.18	-	0.89	-	1.07	-
ไมยราบหนาม <i>M. Pudica</i> L.	0.16	-	0.18	-	0.88	-	1.07	-
Unknown 1	0.15	0.18	0.18	0.19	0.86	0.87	1.04	1.06
Unknown 2	-	0.18	-	0.19	-	0.87	-	1.06
Unknown 3	-	0.18	-	0.19	-	0.87	-	1.06
เข็มป่า <i>Ixora</i> spp.	-	0.18	-	0.19	-	0.87	-	1.06
รวม			100	100	100	100	200	200

หมายเหตุ: - = ไม่พบในพื้นที่

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดและค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพืชในป่าดั้งเดิม และป่าที่ถูกคุกคาม

ดัชนี	ไม้ต้น		ไม้พุ่มล่าง	
	1	2	1	2
Shanon-Wiener Index	2.43	3.46	2.78	3.90
Evenness Index	0.38	0.56	0.32	0.73

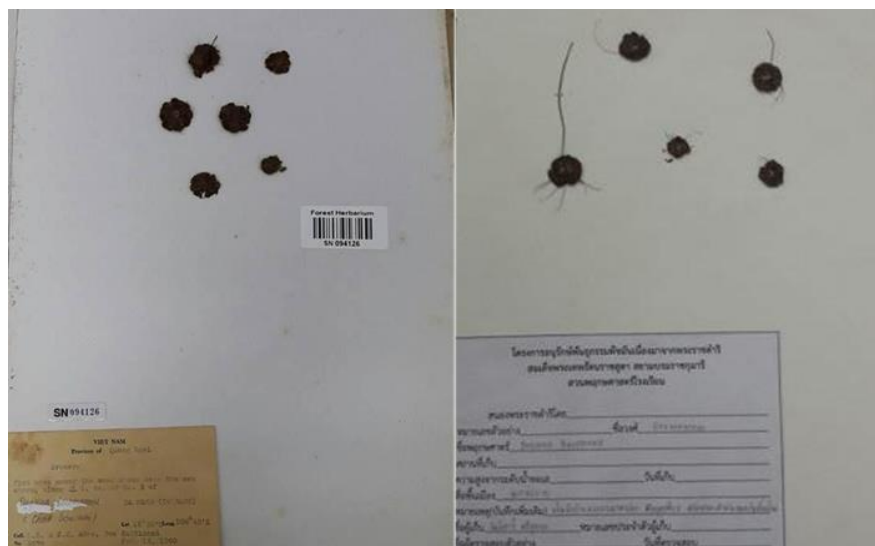
หมายเหตุ: 1= ป่าที่ถูกคุกคาม, 2= ป่าดั้งเดิม

การศึกษานิเวศวิทยาของต้นหยาดน้ำค้าง

จากการเก็บตัวอย่างออกภาคสนามเพื่อสำรวจพื้นที่ทั้งสองบริเวณ คือบริเวณป่าดั้งเดิมที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ (บ้านทุ่งตาเขน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี) และบริเวณที่ป่าถูกคุกคาม (บ้านท่าสน ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอมะเข่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี) และจัดทำเป็นตัวอย่างต้นหยาดน้ำค้างอัดแห้งเพื่อเป็นพรรณไม้อ้างอิง ตามหมายเลขที่ /Voucher โดยตรวจสอบระบุชื่อวิทยาศาสตร์ของพืชที่พบ พร้อมทั้งเก็บเป็นตัวอย่างพรรณไม้แห้งในห้องพิพิธภัณฑ์พืช ภาคชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ม.ราชภัฏสุราษฎร์ธานี และหอพรรณไม้กรมอุทยานแห่งชาติ (ตารางที่ 5) และการศึกษาด้านอนุกรมวิธานจัดทำเป็นตัวอย่างพรรณไม้แห้งเทียบกับพรรณไม้อ้างอิง ณ หอพรรณไม้กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช (BKF) (รูปที่ 1)

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างพรรณไม้แห้งและตำแหน่งที่เก็บสำรวจ

ชนิดพืช/Species	หมายเลขตัวอย่าง/Voucher	Locality ตำแหน่งที่สำรวจเก็บ
<i>Drosera burmani</i> Vahl พิกัด N 9° 10' 68.5" E 99° 37' 84.4"	P.K. 109	ต.มะขามเตี้ย อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี สภาพพื้นที่ดินร่วนปนทราย pH 3.7-6.1 มีน้ำขัง พื้นที่โดยรอบมีพืชปลูก พืชบุกรุก การเกษตร
<i>Drosera burmani</i> Vahl พิกัด N 9° 11' 238" E 99° 32' 153"	P.K. 110	ต.พลาญวาส อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี สภาพพื้นที่ดินร่วนปนทราย มีสภาพแห้งแล้ง pH 3.4-5.4 มีน้ำขังบางพื้นที่โดยรอบสวนปาล์ม น้ำมัน



รูปที่ 1 การเทียบตัวอย่างต้นหยาดน้ำค้าง หมายเลข P.K.109 กับตัวอย่างแห้ง ณ หอพรรณไม้กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช (BKF) หมายเลขตัวอย่าง SN 094126

จากการศึกษาในเขตวิทยาของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าต้นหยาดน้ำค้างมีการเจริญเติบโตขึ้นพบได้ทั่วไปในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเฉพาะในพื้นที่อำเภอเมืองและอำเภอกาญจนดิษฐ์ บริเวณที่พบพืชดังกล่าวลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทราย มักกระจายพันธุ์ขึ้นอยู่บริเวณเดียวกับต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิง (*Nepenthes* spp.) โดยจากการศึกษานี้พบการกระจายพันธุ์อยู่บริเวณเดียวกันต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสื่อสุราษฎร์ (*Nepenthes suratensis* M.Catal) ในอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นพืชหายาก (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงศรีสุราษฎร์ (P.K.120) ในแปลงที่ศึกษา ในอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

การศึกษาทางนิเวศวิทยาของต้นหยาดน้ำค้าง บริเวณป่าดั้งเดิมที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ (บ้านทุ่งตาเซ่น ตำบลพลาวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี) และบริเวณที่พืชกำลังถูกคุกคาม (บ้านท่าสน ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี) พบพรรณไม้หลากหลายชนิดมีการเปรียบเทียบความหนาแน่นเฉลี่ยของต้นหยาดน้ำค้างต่อหน่วยพื้นที่ (ตารางที่ 6) ตลอดจนมีการศึกษาพรรณไม้พืชพื้นล่างในแปลงศึกษา พบว่า

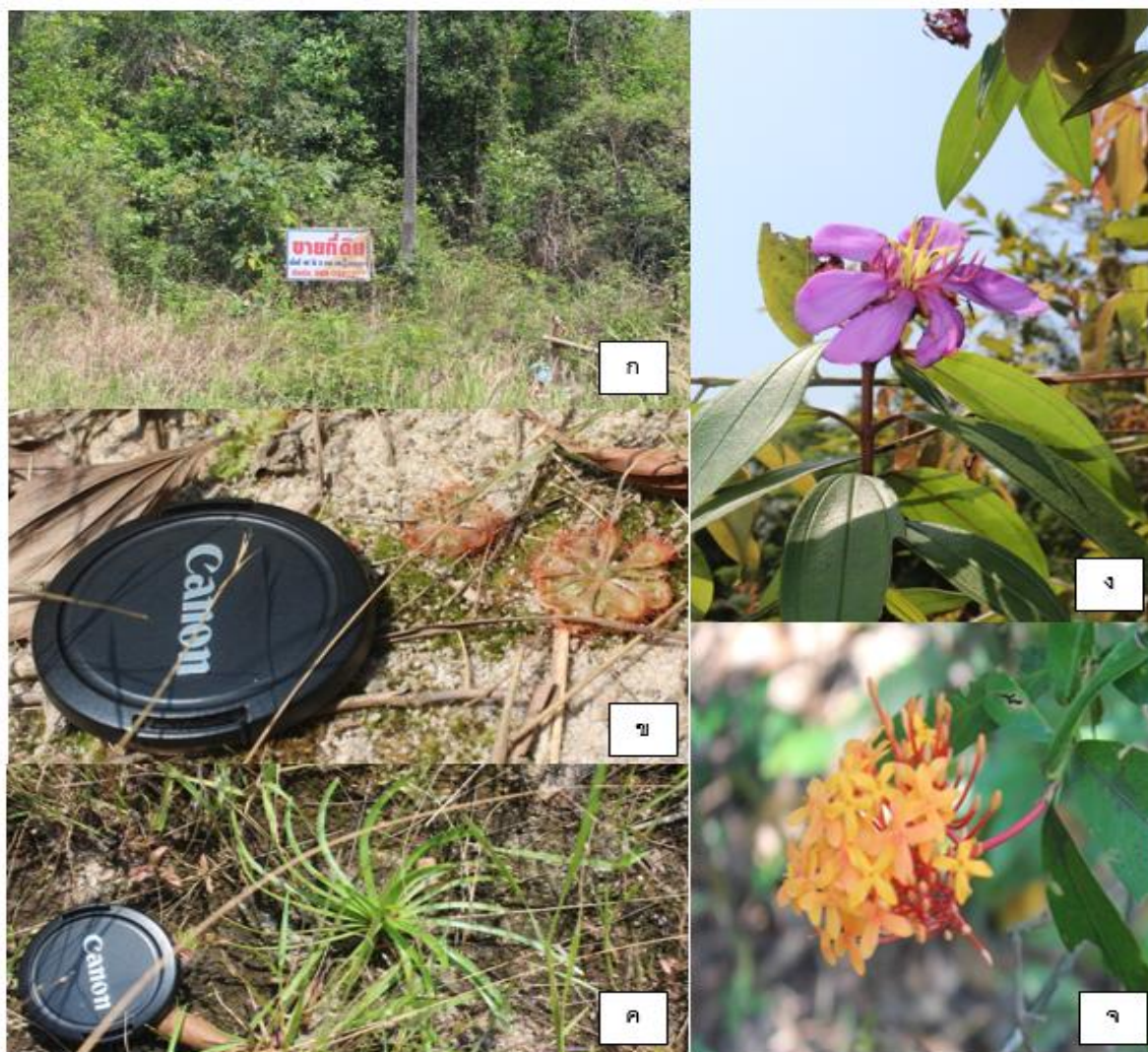
1. แปลงที่ 1 ป่าที่ถูกคุกคาม มีความหนาแน่นเฉลี่ยต้นหยาดน้ำค้าง 7.25 ต้นต่อตารางเมตร พบสิ่งปกคลุมผิวดินเป็นซากพืช ซากใบไม้ และพรรณไม้พื้นล่างอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง เรือนยอดต้นไม้ที่ปกคลุมพื้นที่ต่ำมากถึงปานกลาง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไม้วงศ์กระถิน Leguminosae-Mimosoideae (รูปที่ 3)
2. แปลงที่ 2 ป่าดั้งเดิม มีความหนาแน่นเฉลี่ยต้นหยาดน้ำค้าง 5.28 ต้นต่อตารางเมตร พบสิ่งปกคลุมผิวดินที่เป็นซากพืช พรรณไม้พื้นล่างอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง เรือนยอดไม้ที่ปกคลุมพื้นที่อยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง โดยเป็นไม้ต้นวงศ์ยาง Myrsinaceae (รูปที่ 4)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบความหนาแน่นเฉลี่ยของต้นหยาดน้ำค้าง จอกบว้ายต่อหน่วยพื้นที่ระหว่างแปลงที่ 1 (บ้านท่าสน ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง) กับแปลงที่ 2 (บ้านทุ่งตาเซ่น ต. พลาวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์) ตามเกณฑ์ สมศักดิ์ สุขวงศ์ (2550)

แปลงที่	ความหนาแน่นของต้นหยาดน้ำค้าง (<i>Drosera burmanni</i> Vahl) ต่อหน่วยพื้นที่ (ต้น/ตารางเมตร)	สิ่งปกคลุม	
		ผิวดิน (soil cover)	เรือนยอดต้นไม้ (crown cover)
1. พื้นที่ป่าถูกคุกคาม (บ้านท่าสน ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง)	7.25	ปานกลางถึงสูง	ต่ำมากถึงปานกลาง
2. พื้นที่ป่าดั้งเดิม (บ้านทุ่งตาเซ่น ตำบลพลาวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์)	5.28	ต่ำถึงปานกลาง	ต่ำมากถึงปานกลาง



รูปที่ 3 แปลงที่ 1 บ้านท่าสน ต.มะขามเตี้ย อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี และตัวอย่างพรรณไม้ที่พบ
 (ก) สภาพพื้นที่ (ข) จิกนา (*Barringtonia acutangula* (L.) Gaertn. (ค) การวางแปลงเก็บตัวอย่าง (ง) สนทราย (*Baeckea frutescens* L.) (จ) ต้นกก Unknown 1 วงศ์ Cyperaceae



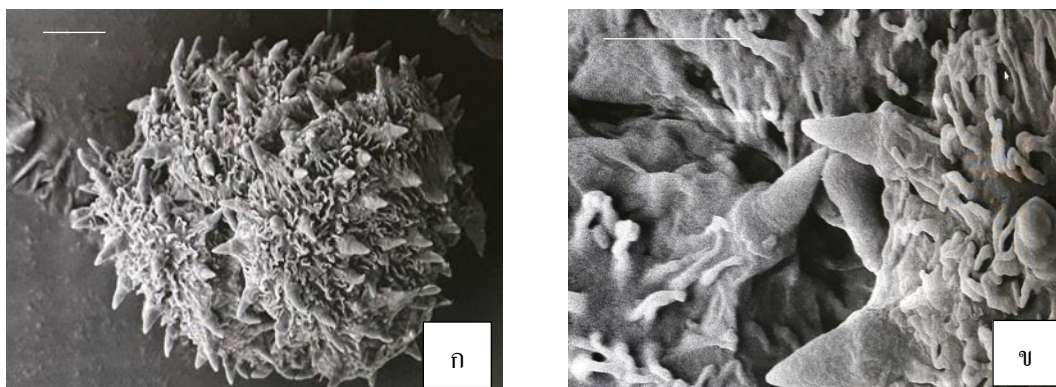
รูปที่ 4 แปลงที่ 2 บ้านทุ่งตาเขน ต.พลายวาส อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี

(ก) สภาพพื้นที่และตัวอย่างพืชที่พบ (ข) ต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmani* Vahl)

(ค) ต้นกกวง Unknown 2 (ง) โคลงเคลง (*Melastoma malabathricum* L.) (จ) เข็มป่า (*Ixora* spp.)

ผลการศึกษาด้านเรณูวิทยา

การศึกษาด้านเรณูวิทยา ของละอองเรณูต้นหยาดน้ำค้าง *Drosera burmani* Vahl วงศ์ Droseraceae จากตัวอย่างพันธุ์ไม้รักษาสภาพหรือตัวอย่างอ้างอิง (Voucher specimen) หมายเลข P.K.109 พบว่าลักษณะเรณูวิทยาเป็นสี่เม็ดเรียงติดกันหรืออาจพบเป็นเม็ดเดี่ยว สมมาตรแบบแนวรัศมี Radical มีขั้วแบบ Isopolar มีรูปร่าง (shape) แบบ Prolate มีช่องเปิด (aperture) แบบกลมผสมรี (Colpate) จำนวน 3 ช่อง มีขนาดเรณูเฉลี่ย 35-50 ไมโครเมตร มีความยาวของแกนตามแนวเส้นศูนย์สูตร (E) (22.50-26.20) ไมโครเมตร ค่าเฉลี่ย (25.2±2.14) ไมโครเมตร มีความยาวของแกนระหว่างขั้ว (P) (44.50-47.50) ไมโครเมตร ค่าเฉลี่ย (46.1±2.28) ไมโครเมตร สัดส่วน P/E = 1.82 ผนังชั้นนอกหนา 1-2 ไมโครเมตร ผนังเรณูมีลักษณะผิวมีหนามแบบแหลม (Acuminate) มีลวดลายแบบตาข่าย (Reticulate) (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 ลักษณะเรณูดันทยาดน้ำค้าง *Drosera burmani* Vahl ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(ก) ลักษณะรูปร่างของละอองเรณู (Scale bar เท่ากับ 1 ไมโครเมตร)
(ข) ลักษณะผิวด้านนอกของเรณูคล้ายหนาม (Acuminate) มีลวดลายแบบตาข่าย (Reticulate)
(Scale bar เท่ากับ 1 ไมโครเมตร)

ผลการศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดต้นหยาดน้ำค้าง

ผลการศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาดน้ำค้างที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% พบว่า สารสกัดต้นหยาดน้ำค้างที่พบในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ดังจะเห็นได้จากการเกิด Inhibition zone ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการเจริญของเชื้อที่มากกว่า เอทานอล 95% ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัด โดยในการศึกษานี้ พบว่า สารสกัดหยาดน้ำค้างที่ความเข้มข้น 1 mg/ml มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในการยับยั้งเชื้อเท่ากับ 10.33 ± 1.15 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* ของสารสกัดหยาดน้ำค้างด้วยวิธี Agar well diffusion

ตัวอย่างทดสอบ	ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของ inhibition zone (mean $\pm$ SD) (มิลลิเมตร)
สารสกัดหยาดน้ำค้าง	10.33 ± 1.15
น้ำกลั่น	-
เอทานอล 95%	5.5 ± 0.50
ยาปฏิชีวนะ Ampicillin	23.33 ± 0.58

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่เกิดโซนยับยั้ง

การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลไม้ต้นและไม้พุ่มล่างที่มีค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ของแปลงศึกษาที่ 1 (พื้นที่ถูกคุกคาม บ้านท่าสน ต.มะขามเตี้ย อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี) มีค่าเท่ากับ 2.43 และ 2.78 ซึ่งมีความน้อยกว่า แปลงที่ 2 (พื้นที่ป่าดั้งเดิม บ้านทุ่งตาเข อ.กาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี) มีค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ 3.46 และ 3.90 ส่วนค่าดัชนีความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของไม้ต้นและไม้พุ่มล่างในแปลงที่ 1 มีค่า 0.38 และ 0.32 มีค่าน้อยกว่าแปลงที่ 2 ซึ่งมีค่า 0.56 และ 0.73 ตามลำดับ พรรณไม้เด่นที่พบในป่าแปลงที่ 1 ได้แก่ กระถิน ปาล์มน้ำมัน เสม็ดขาว และลูกฉิ่ง สภาพพื้นที่ถูกคุกคาม ส่วนพรรณไม้เด่นในแปลงที่ 2 ได้แก่ เสม็ดขาว ปาล์มน้ำมัน โคลงเคลง และหม้อขาวหม้อแกงลิง เป็นพื้นที่ป่าดั้งเดิม เมื่อเปรียบเทียบจำนวนไม้ต้น และไม้พุ่มล่าง ในแปลงที่ 1 พบไม้ต้น 11 ชนิด ไม้พุ่มล่าง 15 ชนิด พบมากกว่าแปลงที่ 2 พบไม้ต้น 4 ชนิด ไม้พุ่มล่าง 14 ชนิด จะเห็นได้จากการศึกษาครั้งนี้พื้นที่ในแปลงที่ 1 พบการคุกคามไม้ต่างถิ่น เช่น กระถิน ปาล์มน้ำมัน

มะพร้าว กล้วย สาบเสือ ไมยราบเครือ และไมยราบหนาม ซึ่งจัดเป็นพืชปลูก เป็นพืชคุกคามพืชดั้งเดิม และเนื่องจากสภาพของสองพื้นที่มีความที่ต่างกัน (Kantachot, 2016)

จากการศึกษาในเวศวิทยาของต้นหยาดน้ำค้างที่พบในจังหวัดสุราษฎร์ธานีทั้งสองบริเวณ สภาพพื้นที่พบต้นไม้บริเวณทุ่งหญ้าโล่งและเป็นดินร่วนปนทราย เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาคความหลากหลายของชนิดพันธุ์ทั้งสองบริเวณ พบว่าแปลงที่ 2 มีความมากชนิดและความสม่ำเสมอของไม้ต้นและไม้พื้นล่างมากกว่าแปลงที่ 1 ส่งผลให้สำรวจพบต้นหยาดน้ำค้างจอกบ่วยสูงกว่าแปลงที่ 1 ซึ่งกล่าวได้ว่าแปลงที่ 2 มีความมั่นคงของระบบนิเวศมากกว่าหรือมีโอกาสเสี่ยงต่อการล่มสลายทางชีววิทยาได้น้อยกว่าแปลงที่ 1 ทั้งยังพบแปลงที่ 1 มีการคุกคามของชนิดพันธุ์พืชต่างถิ่นมากกว่าแปลงที่ 2 จากการศึกษาครั้งนี้พบการบุกรุกพรรณไม้ต่างถิ่น ได้แก่ ไมยราบเครือ (*Mimosa invisa* Mart.) กระตุมทองเลื้อย (*Sphagneticala trilobata* (L.) Prusle) สาบเสือ (*Chromolaena odoratum* (L.) R.M. King & H. Rob) ในพื้นที่แปลงที่ 1 มากกว่าแปลงที่ 2 และจากการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Kantachot, (2016). พบพืชวงศ์หญ้า (Poaceae) วงศ์กระตุมเงิน (*Eriocaulaceae*) และ วงศ์หม้อข้าวหม้อแกงลิง (*Nepenthaceae*) นอกจากนั้น ยังพบว่าต้นหยาดน้ำค้าง สามารถเจริญเติบโตได้ดีบริเวณทุ่งหญ้าโล่งและเป็นดินทราย ที่มีสิ่งปกคลุมต่ำถึงปานกลาง และเรือนยอดมีพืชปกคลุมที่ระดับต่ำมากถึงปานกลาง (Brewer, 1998)

โดยจากการศึกษานี้พบการกระจายพันธุ์อยู่บริเวณเดียวกันต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*Nepenthes suratensis* M.Catal) ในอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานีด้วย ซึ่งเป็นพืชถิ่นเดียวใกล้สูญพันธุ์ และจากการศึกษาเทียบตัวอย่างพรรณไม้แห้ง ณ หอพรรณไม้กรมป่าไม้ พบเป็นการพบเจอต้นหยาดน้ำค้างรายงานครั้งแรกในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (New record to locality) ตลอดจนพบสนทราย (*Baeckea frutescens* L.) พืชหายใกล้สูญพันธุ์ พบเป็นสภาพาดโบราณในวัด พืชที่ถูกคุกคามและหายากในพื้นที่ (Chamchumroon et. al., 2017) จากการศึกษาทางเรณูวิทยาของต้นหยาดน้ำค้างจอกบ่วย (*Drosera burmanni* Vahl) พบว่ามีโครงสร้าง รูปร่าง ขนาด ลวดลาย ช่องเปิด ผนังชั้นนอกของเรณูหยาดน้ำค้างสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Kuprianova (1973) ในสหพันธรัฐรัสเซีย และ Somnath and Datta (2013) ในประเทศอินเดีย

นอกจากนั้น ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาดต้นหยาดน้ำค้างที่พบในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในมนุษย์ในหลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่การติดเชื้อบนผิวหนัง การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ การติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร ไปจนถึงการติดเชื้อในกระแสโลหิต สาเหตุอาจเนื่องมาจาก ต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni*) มีส่วนประกอบของสารฟลักซ์เคมีหลายชนิด เช่น reserpine, methyl gallate และ rutin (Goswami et al, 2019) ซึ่งสารฟลักซ์เคมีเหล่านี้มีการศึกษาวิจัยที่พบว่ามีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ (Adamczak et. al., 2019)

บทสรุป

การศึกษาคความหลากหลายของพรรณไม้ นิเวศวิทยา เรณูวิทยา และฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) ในอำเภอเมืองและอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี สามารถนำความรู้ที่ได้มาประกอบการพิจารณาฟื้นฟูอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์เบื้องต้นของต้นหยาดน้ำค้าง (*Drosera burmanni* Vahl) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ตลอดจนเป็นรายงานการศึกษา นำไปสู่การรักษาพรรณไม้ชนิดนี้ให้อยู่คู่จังหวัดสุราษฎร์ธานีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาชีววิทยา และสาขาสารสนเทศสุขุมชน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี หอพรรณไม้ กรมป่าไม้บางเขน กรุงเทพมหานคร (BKF) และศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และขอขอบคุณทุนสนับสนุนในการทำวิจัยจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช และมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

เอกสารอ้างอิง

- ดอกรัก มารอด. (2554). เทคนิคการสั้ดตัวอย่างและการวิเคราะห์สังคัมพีช. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิติ คชานันท์. (2548). ความหลากหลายชนิดของพรรณไม้และการใช้ประโยชน์ของชุมชนท้องถิ่น: กรณีศึกษาป่าชุมชนเขาสน อำเภอยาย จังหวัดเพชรบุรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- ราชันย์ ภูมา และสมราน สดุดี. (2557). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557). สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้พันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่า และพันธุ์พืช. กรุงเทพมหานคร.
- ประนอม จันทรโณทัย และพันธ์ทิศา กระจ่าย. (2555). เรณูของพืชดอก. ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา. ขอนแก่น.
- วรดลต์ แจ่มจำรูญ. (2562). คู่มือจำแนกพรรณไม้ พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัทโอเมก้า พรินต์ติ้ง จำกัด. กรุงเทพมหานคร.
- สมศักดิ์ สุขวงศ์. (2550). การจัดการป่าชุมชน: เพื่อคนและเพื่อป่า. บริษัทวิวัฒนาการพิมพ์. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานจัดการที่ดิน กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2565). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำ ข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ปี พ.ศ. 2565. สำนักงานจัดการที่ดิน กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร.
- Adamczak A., Ożarowski, M. and Karpiński T.M. (2019). Antibacterial activity of some flavonoids and organic acids widely distributed in plants. *Journal of clinical medicine*. 9(1): 109.
- Brewer J.S. (1998). Effect of competition and litter on a carnivorous plant, *Drosera capillaries* (Droseraceae). *American Journal of Botany*. 85(11): 1592-1596.
- Chamchumroom V., Suphunte N., Tetsana N., Poopath M. and Tanikkool S. (2017). Threatened plant in Thailand. Omega Printing Co., Ltd., Bangkok.
- Erdtman G. (1972). Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms (An introduction to Palynology), Hafner Publishing Company, New York.
- Fleischmann A.S., Rakotoarivelo N.H., Roccia A., Gonella P.M., Andriamiarisoa R.L., Razanatsima A. and Rakotoarivony F. (2020). A new and endemic species of *Drosera* (Droseraceae) from Madagascar. *Plant Ecology and Evolution*. 153(2): 283-291.
- Goswami R., Sinha T., and Ghosh K. (2019). *Drosera* sp: a critical review on phytochemical and ethnomedicinal aspect. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 9(1): 596-601.
- Kantachot C. (2016). Comparative anatomy and ecology of the threatened plant genus *Drosera* sp. (Droseraceae) in Ubon Ratchathani University.
- Kuprianaova L.A. (1973). Pollen morphology within the genus *Drosera*. *Grana*. 13: 103-107.
- Larsen K. (1987). Droseraceae. In Smitinand, T and K, Larsen, *Flora of Thailand*. 5(1): 67-69.
- Silaket P. and Pakdeedashakiat V. (2017). Application of antimicrobial compounds from lactic acid bacteria for inhibiting food borne pathogens. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*. 19(Special issue): 51-61.
- Somnath B. and Datta B.K. (2013). Pollen morphology of some carnivorous plants from Tripura, India. *International Journal of Fundamental & Applied Sciences*. 2(2): 36-38.
- Sukkaewmanee P. (2019). Pollen morphology of native banana cultivar (*Musa acuminata* Colla) in Surat Thani Province. *International Journal of Pharma Medicine and Biological Science*. 8(2). 40-52.

- Utilizing hand landmarks and MediaPipe for deep neural network-based recognition of signal for help
Narongrit Piromnok
- Effect of hydrogen peroxide on the control of chili anthracnose caused by *Colletotrichum* sp.
Sirisopha Inkha Wannawong, Wirot Chompoo and Kamonporn Panngom
- The model of vehicle transportation and distribution of organic vegetables in the community of Kantu-adramaul Subdistrict, Prasat District, Surin Province
Supawit Niyomphant, Tarinee Meecharoen, Siwaporn Nannar, Nisanath Kaewwinud, Pongkrai Watanatrong and Chalita kaewbuddee
- Thermal performance enhancement of solar air heater with perforated curved- winglet roughness on absorber plate
Panuwat Hoonpong, Suabsakul Gururatana and Sompol Skullong
- Water Quality and Diversity of Protozoa in the Chanthaburi River, Chanthaburi Province
Weera Yindee, Wittawat Wetchagool, Narumon Wetchagool, Sitthi Kulabtong, Dusit Srivilai and Watchanachai Joompha
- Evaluation of yield and qualities of reported resistant tomato Lines under plastic-net house
Chadchawarn Sangrit, Suleeporn Pimklang and Tanyarat Tainta
- The development of artificial intelligence system to detect *Mycobacterium Tuberculosis* (M. *Tuberculosis*) from sputum with Acid-Fast Bacillus (AFB) method
Punnathorn Khunhon, Peraga Puangtong, Vichien Donram and Thanthun Sangphoo
- Effect of site-specific nutrients management on rice yield and economic return in Sikhoraphum District, Surin Province
Puchong Suphakwarangkun, Samnao Saowakoon, Ajcharawadee Kruapukdee and Nion Ngamhui
- Synthesis of calcium acetate from golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) shells with a low-cost process for using as raw material for liquid fertilizer
Wimonmat Boonmee, Chaowared Seangarun, Banjong Boonchom, Natee Ohpasee, Sorakit mongkol, Thana Kuaphanich and Buppha Jongput
- The diversity study of plant, ecology, palynology and anti-bacteria of *Drosera burmanni* Vahl in Mueang Surat Thani and Kanchanadit District, Surat Thani Province
Parinya Sukkaewmanee and Araya Pranprawit