

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2566
Vol.4 No.2 May – August 2023

- โหมเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิล์มมอนต์มอริลโลไนต์ย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่
สุรภี แสนคราม, สุดาพร ตังควนิช และปรีชา มูลสิน
- การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจาก ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอม
นำพน พิพัฒน์ไพบุลย์, นิรุต อ่อนสลุง, สมพร หงกงษ์, สุริยาโชค เพิ่มพูน, วัชรายุทธ ลำดวล
และสุรเชษฐ์ สีขำนาญ
- ชุดสาริตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย
บุญกัน สนั่นน้ำหนัก, อติคร นวลอ่อน, สรายุตร์ สวัสดิ์วงศ์ชัย, วันทนา สุขมณี, บุญยัง สิงห์เจริญ,
สันติ สาแก้ว และพงสกร ตอรบรมย์
- การประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SCot
วัลย์ลักษณ์ ถึงคุณ, ภัทรวรินทร์ โพธิ์ศรี และปัทมา ศรีน้ำเงิน
- การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซีซีซีไม่จิกกับฟิล์มพลาสติกหลายชั้นสำหรับเป็นวัสดุของซองควบคุม
การปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ
หทัยพร กัมพวงศ์, ฤทธิรงค์ พงศ์นิกุล และวีระเวทย์ อุกุโร
- การพัฒนาโรงเพาะเห็ดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและมูลค่าของเห็ดด้วยการควบคุมผ่านสมาร์ตโฟนสำหรับ
วิสาหกิจชุมชนผู้เพาะเห็ด
ธนพร พะยอมใหม่ และสมสิน วาญขุนทด
- เครื่องกีดเส้นห้ามเล็ดระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า
รณยุทธ นนทพล, กิตติวัฒน์ จีบแก้ว และเกียรติพงศ์ ไชยตะมาตย์
- Different plant extracts against the early blight (*Alternaria solani*) on tomato
(*Solanum lycopersicum*)
Sreynich Eam, Pengly Koun, Socheath Ong, Socheath Tong, Borarin Buntong and
Nongnid Prachaiboon
- การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลไม้ปลูกในระหว่างการเก็บรักษา
มณชัย เดชสังกรานนท์, วิภา ทัพเพียงใหม่ และศักดิ์ชัย ยอดมิกสิน
- การห่อหุ้มโพรไบโอติกแบคทีเรียและการประยุกต์ใช้ในเจลลี่หมอนอาหารสำหรับผู้สูงอายุ
บุญรี สอนสะอาด, สุพรรณษา บุญตั้ง, ศิริพร ห่วงเจริญ, วรนิษฐ์ เมืองมาหล้า, นฤทธิ วาดเขียน
และไชยการณ ดำเนินงาม

ISSN 2730 - 163X

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) โหมเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ 2) การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจาก ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอม 3) ชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย 4) การประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SCoT 5) การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซีซีซีซีไม้จิกกับฟิล์มพลาสติกหลายชั้นสำหรับเป็นวัสดุของซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ 6) การพัฒนาโรงเพาะเห็ดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและมูลค่าของเห็ดด้วยการควบคุมผ่านสมาร์ตโฟนสำหรับวิสาหกิจชุมชนผู้เพาะเห็ด 7) เครื่องกีดเส้นห้ามเล็ดระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า 8) Different plant extracts against the early blight (*Alternaria solani*) on tomato (*Solanum lycopersicum*) 9) การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องต้มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษา 10) การห่อหุ้มโพรไบโอติกแบคทีเรียและการประยุกต์ใช้ในเจลลี่หม่อนอาหารเพื่อผู้สูงอายุ

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 วช.สุรินทร์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ	อ.ทรงยศ	กิตติชนม์ธวัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวิณา	สาส์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
	ดร.อัญวีณ์	ไชยวิชระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ			
	ศ.ดร.สนั่น	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.สุขสันต์	ห่อพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศ.ดร.อลงกลด	แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พล.อ.ต.ศ.ดร.สรกฤษ ศรีเกษม		โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร.พันธวัศ	สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปรเมศ	บรรเทิง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ธนัชฐา	ทรรพนันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรพินท์	จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.รัชพล	สันติวรการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.กริช	สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รศ.ดร.บุญเสถียร	บุญสูง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุรพล	แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.วิศิษฐ์พร	สุขสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.บรรจง	บุญชม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วีรเวทย์	อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อังคณา	บุญยิด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.เอื้อมพร	จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.พัชรินทร์	อาตมียะนันท์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผศ.ดร.ภาณุพล	หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.อรอนงค์	ภูสีฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.สิริภัทร	เชี่ยวชาญวัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.บัณฑิต	ยวงสร้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.รัตติกาล	เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วท.บางพระ
ผศ.ดร.พัชริน	ส่งศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดิล	ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ผศ.ดร.รัตนจิรา	รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ผศ.ดร.ศุภลักษณ์	เกตุดากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ดร.สุทธิชาน	นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ดร.สุรียา	อุดด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ดร.ทิวากร	อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ดร.วิภาสทธิ์	หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ดร.เรวัฒน์	เต็มกล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ดร.นิตยา	ภูงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์
ดร.ปรัชญา	บำรุงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วท.สุรินทร์

กำหนดออกวารสาร

พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน

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

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมีใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2

รองศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์ อุทโท

รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง บุญชม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรภรณ์ สุวอ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรลัดดา เจือจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ อารยางกูร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกกานต์ ลายสนธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ จิระชีวะนันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ จันทศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาพร แสงประจักษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช ลอยหา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนชัย ล้นทม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิดา เมืองโคตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา เลหาศิลป์สมจิตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญ ฝาใต้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญญ์นิช ธัญสิริวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ แก้วอ่อน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์

อาจารย์ ดร.ศักดิ์สิทธิ์ สุ่มมัตย์

อาจารย์ ดร.ชัชวาล แสงฤทธิ์

อาจารย์ ดร.รัชนี พุทธา

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

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 1 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 4 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 5 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TC12)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย ลิทธิวงษ์

บรรณาธิการ

- ไหมเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1
Silk coated zinc oxide pillared montmorillonite dyeing with natural dyes from riceberry leaves
สุรภี เสนคราม สุดาพร ตั้งควนิช และปรีชา มุลสิน
- การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจาก ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม เพื่อใช้เป็น ส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอม 11
Essential oils distillations from *Limnophila aromatica* (Lam.) Merr., *Alpinia malaccensis*, *Zanthoxylum limonella* Alston and *Kaempferia galanga* for use as ingredients in the perfumery industry
นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์ นิรุต อ่อนสลุง สมพร หงกงษ์ สุริยาโชค เพิ่มพูน
วัชรายุทธ ลำดวล และสุรเชษฐ์ สีชำนาญ
- ชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย 23
Wireless power transmission demonstration kit
บุญทัน สนั่นน้ำหนัก อติศร นวลอ่อน สรายุตร์ สวัสดิ์วงษ์ชัย วันทนา สุขมณี
บุญยัง สิงห์เจริญ สันติ สาแก้ว และพงสกร ตอรบรมย์
- การประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SCoT 34
Assessment of the genetic relationship of aromatic rice using SCoT molecular marker
วัลย์ลักษณ์ ถึงคุณ ภัทรวรินทร์ โพธิ์ศรี และปัทมา ศรีน้ำเงิน

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซี่ชันไม้จิกกับฟิล์มพลาสติกหลายชั้นสำหรับเป็นวัสดุ ของซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ	45
Feasibility study on using hard resin of ‘Ton Jik’ Taengwood balau tree (<i>Shorea obtusa</i> Wall) with multilayer plastic film as materials of ethanol vapor-controlled release sachets in active packages	
หทัยพร กัมพวงศ์ ฤทธิรงค์ พฤษภูมิกุล และวีรเวทย์ อุทโซ	
การพัฒนาโรงเพาะเห็ดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและมูลค่าของเห็ดด้วยการควบคุม ผ่านสมาร์ตโฟนสำหรับวิสาหกิจชุมชนผู้เพาะเห็ด	59
Development of smart mushroom farm to increase the efficiency and value of mushrooms by using smartphone control for community enterprises in mushroom farming	
ธนพร พะยอมใหม่ และสมลีน วาญขุนทด	
เครื่องกดเส้นห้ามเลือดระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า	74
Electric pneumatic hemostatic machine press system	
รณยุทธ นนท์พละ กิตติวัฒน์ จีบแก้ว และเกียรติพงศ์ ไชยตะมาตย์	
Different plant extracts against the early blight (<i>Alternaria solani</i>) on tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>)	86
Sreynich Eam Socheath Tong Socheath Ong Buntong Borarin Nongnid Prachaiboon and Pengly Koun	

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษา	97
---	----

Quality changes of probiotic beverages from ripe ceylon spinach

(*Basella alba* Linn.) juice during storage

มณชัย เดชสังกรานนท์ วิภา ทัพเพียงใหม่ และศักดิ์ชัย ยอดมณีกลิ่น

การห่อหุ้มโพรไบโอติกแบคทีเรียและการประยุกต์ใช้ในเจลลี่หม่อนอาหารเพื่อผู้สูงอายุ	109
---	-----

Encapsulation of probiotic bacteria and its application in mulberry jelly

as food for elderly

นุจรี สอนสะอาด สุพรรณษา บุญตั้ง ศิริพร ห่วงเจริญ วรนิษฐ์ เมืองมาหล้า

นฤทธิ วาดเขียน และไชยการณ ดำเนินงาม

Received: December 7, 2022; Revised: February 14, 2023; Accepted: March 21, 2023

ไหมเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่

Silk coated zinc oxide pillared montmorillonite dyeing with natural dyes from riceberry leaves

สุรณี เสนคราม^{1*} สุดาพร ตั้งควนิช¹ และปรีชา มุลสิน¹Surapee Senkram^{1*}, Sudaporn Tangkawanit¹ and Preecha Moonsin¹¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี¹Faculty of Science Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani Province^{*}Corresponding Author E-mail Address: surapee.sg61@ubru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เตรียมซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) ด้วยวิธีเอ็บซุ่มและปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล โดยทำการเอ็บซุ่มแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ด้วยสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้น 9%, 11%, 13% และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร นำเส้นไหมมาเคลือบ ZnO-MMT ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำเส้นไหมที่เคลือบ ZnO-MMT มาย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 80°C เติมน้ำช่วยติดสี ได้แก่ คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เพอร์รัสซัลเฟต โพแทสเซียมอะลัม และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ วิเคราะห์ค่าความเข้มสีของเส้นไหม ทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี (Ultraviolet Protection Factor: UPF) ความคงทนของสีต่อแสงและการซักล้าง ผลการวิจัยพบว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบ ZnO-MMT มีผิวหน้าที่เรียบ ส่วนเส้นไหมที่เคลือบจะปรากฏอนุภาคนาโน ZnO-MMT ที่ผิวหน้า ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้เส้นไหมดูดซับโมเลกุลสีย้อมได้มากขึ้น ความคงทนของสีต่อแสงของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบด้วย ZnO-MMT เฉลี่ยอยู่ในระดับ 4-5 (ดีถึงดีมาก) และความคงทนของสีต่อการซักล้าง ครั้งที่ 10 อยู่ในระดับ 4 (ดี) เมื่อนำเส้นไหมไปทดสอบ UPF โดยปกติผ้าที่มี UPF สูงจะเป็นการบอกว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันยูวีได้ดีกว่าผ้าที่มีค่า UPF ต่ำ และเส้นไหมที่เคลือบด้วย 9ZnO-MMT มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับดีเยี่ยม โดยมีค่า UPF เท่ากับ 44.86

คำสำคัญ: ซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ เส้นไหม สารช่วยติดสี ใบข้าวไรซ์เบอร์รี่

Abstract

In this study, zinc oxide pillared montmorillonite (ZnO-MMT) was prepared by impregnation method and hydrothermal reaction. The montmorillonite (MMT) clay was with $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution at 9%, 11%, 13% and 15% concentrations. It was then hydrothermal in ammonium hydroxide (NH_4OH) solution at 85°C for 24 hr to obtain zinc oxide pillared montmorillonite (ZnO-MMT). Silk was coated with zinc oxide pillared montmorillonite (ZnO-MMT) at various concentration. The physical properties of the coated silk was characterized by using scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectrophotometer (FT-IR). The coated silk was dyed with natural dyes from riceberry leaves at 80°C , for 30 minutes and also mordanted with copper (II) sulphate, ferrous sulfate, potassium alum and calcium hydroxide. The color strength, color fastness, UV protection. The results showed that uncoated silk had a smooth surface, while the coated silk appeared zinc oxide pillared montmorillonite nanoparticles on the silk surface. This increases the surface area of silk fibers to absorb more dye molecules. Light fastness of uncoated silk and silk coated with ZnO-MMT at various concentrations average in level of 4-5 (good to very good) and washing fastness of 10 washed cycle was in level 4 (good). Ultraviolet Protection Factor is a scale to measure how much UV radiation passes through fabric to skin. A high UPF has better UV protection than a low UPF. Silk coated with 9ZnO-MMT had the highest UV protection capability with a UPF value of 44.86.

Keywords: Zinc Oxide Pillared Montmorillonite, Silk, Mordant, Riceberry leaves

บทนำ

ปัจจุบันการนำนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีมาใช้อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะเป็นวิธีการที่จะช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้าง ความสามารถในการป้องกันรังสียูวี ซึ่งจะเป็นการเพิ่มนวัตกรรมและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ วัสดุนาโนที่นิยมนำมาใช้อุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ นาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร มีสมบัติป้องกันได้ทั้ง รังสียูวี เอ ยูวีบี และไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศศิธร และสุดาพร (2555) ที่ได้พัฒนาสมบัติของเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ย้อมด้วยสีธรรมชาติแบบผงจากใบสาบเสือ พบว่า เส้นไหมที่เคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะครีลิกและสารพอลิเอเทอร์ฟอสเฟตมีความคงทนของสีต่อแสงในระดับดีเมื่อเติมสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี เส้นไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะครีลิกและสารพอลิเอเทอร์ฟอสเฟตมีความคงทนของสีต่อการซัก อยู่ในระดับดีเมื่อเติมเงินสีเป็นสารช่วยติดสี สอดคล้องกับ สุตกมล และรุ่งภา (2559) ได้พัฒนาผ้าให้มีคุณสมบัติเพิ่มความเข้มสี ความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้างด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์โดยใช้เคมีสีเขียวและผ้าฝ้ายที่ไม่มีการดัดแปร พบว่า ผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ค่าความเข้มสี (K/S) 3.021 ความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับ 4 (ดี) ความคงทนต่อการซักล้างจำนวน 1-5 ครั้ง อยู่ในระดับ 4 (ดี) ซึ่งสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่มีการดัดแปร สอดคล้องกับงานวิจัยของ EL-Hady (2013) ได้ศึกษาผลของสารกรดคาร์บอกซิลิก 2 ชนิด คือ Succinic Acid (SA) และ 1,2,3,4-Butane Tetracarboxylic Acids (BTCA) ร่วมกับ Sodium Hypophosphite (SHP) ในฐานะตัวเร่งปฏิกิริยาและนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารหน่วงไฟสำหรับผ้าฝ้าย/โพลีเอสเตอร์ การวิเคราะห์การป้องกันรังสียูวี พบว่า ผ้าฝ้าย/โพลีเอสเตอร์ ที่บำบัดด้วย 0.5% (w/v) ZnO, 6% BT, 6% SHP เท่ากับ 50+

(ดีเยี่ยม) นอกจากนี้ยังมีการนำนาโนซิงค์ออกไซด์มาคอมโพสิตกับแร่ดินเหนียว เช่น มอนต์มอริลโลไนต์ เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับเส้นไหม เพราะเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีประจุลบอยู่ในโครงสร้างและมีราคาถูกจึงทำให้สามารถดูดซับสีย้อมที่มีประจุบวกได้ดี มีประจุในโครงสร้างมากพอที่จะสามารถแลกเปลี่ยนไอออนและสามารถขยายตัวได้มาก Francisco (2001) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือก มอนต์มอริลโลไนต์มาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นไหมและความคงทนของสีธรรมชาติ โดยนำซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) มาเคลือบบนเส้นไหม เนื่องจากเป็นอนุภาคนาโน และมีการกระจายตัวจับกับเส้นไหม สามารถไปเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงผิวของเส้นไหมของผ้าไหม อนุภาคเหล่านี้จะไปสร้างพันธะทางเคมีใหม่กับโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเส้นไหมผ้าไหม หรืออาจเข้าไปแทรกอยู่ในระหว่างโครงสร้างโมเลกุลของเส้นไหมผ้าไหม จากนั้นนำมาย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าว ซึ่งข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจลำดับต้น ๆ ของไทย สามารถสร้างรายได้เข้าประเทศมากกว่า 200 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2561) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 รูปร่างเมล็ดเรียวยาว สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2552) นอกจากการปรับปรุงพันธุ์ข้าว การสร้างคุณค่าและคุณประโยชน์จากข้าวด้วยวิธีอื่นก็มีความสำคัญ ในฤดูกาลทำนามีใบกล้าข้าวที่เหลือจากการทำนามาก ดังนั้นจึงมีการนำใบข้าวไปใช้ประโยชน์ คือ นำไปย้อมเส้นไหมเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ลักขณา และคณะ, 2553) จากสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและต้องการนำเสนอกระบวนการเตรียมและการนำซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) มาเคลือบบนเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้สารช่วยติดสี เป็นการพัฒนาต่อยอด ค้นหาวิธีการใหม่ ๆ มาเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเส้นไหมตลอดจนสีธรรมชาติที่นำมาใช้ก็ถือเป็นเรื่องใหม่ เนื่องจากไม่ปรากฏว่าเคยมีการนำใบข้าวมาสกัดเป็นสีย้อม ตลอดจนศึกษาความสามารถในการป้องกันรังสียูวี ความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งจะช่วยให้ได้นวัตกรรมเส้นไหมที่สามารถป้องกันรังสียูวี มีความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างเพิ่มขึ้น เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้กับเกษตรกร เป็นแนวทางในการนำทรัพยากรที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

เส้นไหมที่ศึกษา ได้แก่ เส้นไหมขนาด 100/120 D เกลียว 150 จากบริษัทจุลไหมไทย จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์ วัสดุนาโนที่ใช้ ได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ และซิงค์ออกไซด์ พืชที่ใช้ย้อม ได้แก่ ใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้ส่วนที่เป็นใบ เก็บจากบ้านไพรพัฒนา ตำบลไพรพัฒนา อำเภอกงสุรินทร์ จังหวัดศรีสะเกษ สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite), ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4), สารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต (NaH_2PO_4) สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) โพแทสเซียมอะลัม $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $\text{Ca}(\text{OH})_2$

2. วิธีการการดัดแปรโครงสร้างแร่ดินเหนียวมอนต์ มอริลโลไนต์ ด้วยซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ด้วยวิธีการเอิบซุ่ม (Impregnation)

เตรียมแร่มอนต์มอริลโลไนต์ 5 กรัม กับ ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 9% 11% 13% และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ มาผสมกับ MMT โดยค่อย ๆ หยดสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงใน MMT จนมีลักษณะเอิบซุ่ม และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10-15 นาที แล้วทำซ้ำโดยการค่อย ๆ หยดสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ จนหมด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C ทิ้งไว้ 1 คืน ให้แห้งสนิท นำมาบดให้ละเอียดได้เป็นซิงค์ไอออนมอนต์มอริลโลไนต์ (Zn^{2+} -MMT) (กิตติชัย, 2558)

3. การเตรียม ZnO-MMT ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล และการเตรียมสารละลาย Cross-link agent 1,000 มิลลิลิตร

ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลโดยนำสาร Zn^{2+} -MMT 5 กรัม และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 100 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล โดยทำการรีฟลักซ์ที่ อุณหภูมิ $85^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยบุชเนอร์ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 นำไปอบที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. การเตรียมสารละลายครอสลิงก์และการเคลือบเส้นไหมด้วยสารละลายครอสลิงก์

เตรียมกรดซัลฟอนิก 6% โดยมวล ในสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 4% โดยมวล โดยชั่งสารโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ชั่งกรดซัลฟอนิก 60 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 940 มิลลิลิตร คนให้สารละลายเข้ากัน (Karimi et al., 2010)

ตวงสารละลายครอสลิงก์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทลงปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำเส้นไหมแต่ละผืนลงไปจุ่มในสารละลายนาน 1 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ $85^{\circ}C$ นาน 3 นาที จากนั้นอบที่อุณหภูมิ $180^{\circ}C$ นาน 2 นาที ผึ่งให้แห้ง (Karimi et al., 2010)

5. การเตรียมสารแขวนลอยของอนุภาคอัตราส่วนระหว่าง ZnO-MMT

ชั่ง 9ZnO-MMT, 11ZnO-MMT, 13ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT อย่างละ 3 กรัม ใส่ในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนแล้วนำไปแช่ (Sonicate) นาน 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก นำเส้นไหมที่ผ่านการครอสลิงก์ไปจุ่มลงในสารแขวนลอยที่เตรียมไว้ แล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ $75^{\circ}C$ นาน 1 ชั่วโมง นำเส้นไหมขึ้นพักแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ นาน 30 นาที นำเส้นไหมไปแช่ (Sonicate) ด้วยน้ำกลั่น นาน 10 นาที เพื่อล้างอนุภาคนาโนที่ไม่เกิดอันตรกิริยาออก (กิตติชัย, 2558)

6. การเตรียมสีย้อม และการย้อมเส้นไหมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่

ชั่งใบข้าว 4 กิโลกรัม ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปต้มในน้ำปริมาตร 10 ลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองจะได้น้ำสีย้อมจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ นำเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสในน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นแช่ในสารละลายโพแทสเซียมอะลัม เป็นเวลา 30 นาที ตวงน้ำสีย้อมจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำแต่ละปิกเกอร์ลงไปยังอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ $80^{\circ}C$ นำเส้นไหมที่แช่สารละลายโพแทสเซียมอะลัมแล้วลงย้อม เป็นเวลา 30 นาที ครบกำหนดเวลานำปิกเกอร์ลง และปล่อยเส้นไหมให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำเส้นไหมที่ผ่านการย้อมแล้วลงแช่ในสารละลายช่วยติดสี ได้แก่ สารละลายโพแทสเซียมอะลัมปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เพนตะไฮเดรต 100 มิลลิลิตร สารละลายแอมโมเนียม เพอร์รัสซัลเฟต (II) เฮกซะไฮเดรต 100 มิลลิลิตร สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที ครบกำหนดเวลา นำเส้นไหมขึ้นบิดพอหมาด กระตุกเส้นไหมเบา ๆ นำไปล้างน้ำ จนน้ำล้างใส ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม และนำไปทดสอบต่อไป (ศศิธร และสุตาพร, 2555; สุตาพร, 2562)

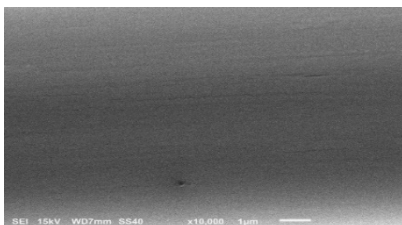
7. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นไหม

นำเส้นไหมที่ผ่านการเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสในน้ำกลั่น ไปทดสอบสัณฐานวิทยาของเส้นไหมก่อนและหลังเคลือบซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และพิสูจน์เอกลักษณ์ ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ความเข้มสีของเส้นไหมด้วยเครื่องวัดสี Color Meter CIELAB ที่ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี เพื่อหาค่า L^* , a^* , b^* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) และ K/S ซึ่งเป็นค่าบอกความเข้มของสีเมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ค่า K/S ของวัสดุที่บีกจะมีค่าคล้าย ๆ กับค่าดูดกลืนแสง

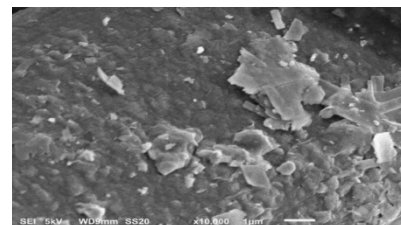
(Absorbance) ของสารละลาย (สุตกมล, 2560) ส่งวิเคราะห์สมบัติการป้องกันรังสียูวี ด้วยเครื่องวัดความสามารถในการป้องกันยูวี UV-Vis Spectroscopy ยี่ห้อ Agilent รุ่น Carry 300 ที่หน่วยบริการห้องปฏิบัติการทดสอบและรับรองมาตรฐาน อาคารสิรินธรวิพัฒน์ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเครื่องมือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทดสอบค่าความคงทนของสีต่อแสง และค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง

ผลการวิจัย

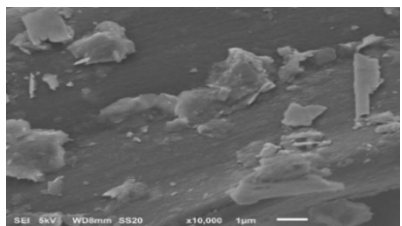
ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่า เส้นไหมที่ไม่ได้เคลือบด้วย ซิงค์ออกไซด์ฟิล์มอาร์มอนด์มอร์ริสไลน์ต์มีลักษณะพื้นผิวเรียบ เมื่อนำเส้นไหมไปเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ฟิล์มอาร์มอนด์มอร์ริสไลน์ต์ พบว่า บริเวณพื้นผิวของเส้นไหมมีลักษณะขรุขระ เนื่องจากมีอนุภาคซิงค์ออกไซด์ฟิล์มอาร์มอนด์มอร์ริสไลน์ต์ มาเกาะอยู่อย่างกระจุกกระจาย ดังแสดงในรูปที่ 1



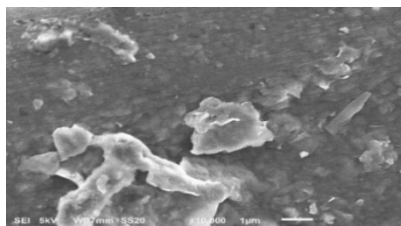
(ก) SEM เส้นไหมที่ไม่เคลือบ ZnO-MMT



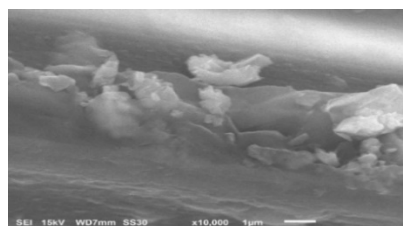
(ข) SEM เส้นไหมเคลือบ 9ZnO-MMT



(ค) SEM เส้นไหมเคลือบ 11ZnO-MMT



(ง) SEM เส้นไหมเคลือบ 13ZnO-MMT

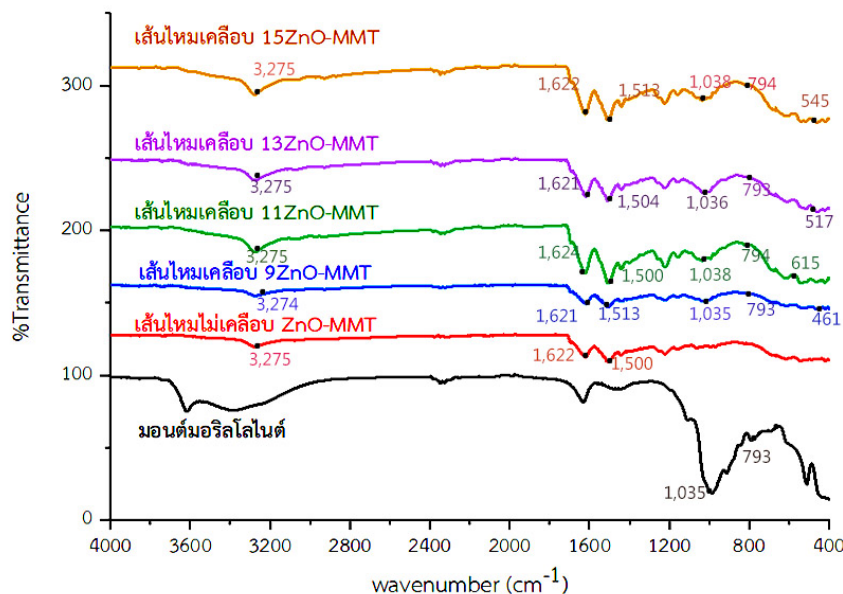


(จ) SEM เส้นไหมเคลือบ 15ZnO-MMT

รูปที่ 1 ภาพถ่ายเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบ 9ZnO-MMT, 11ZnO-MMT, 13ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

ซึ่งสอดคล้องกับแถบการสั่นที่ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ดังแสดงใน รูปที่ 2 เส้นไหมเคลือบ 9ZnO-MMT, 11ZnO-MMT, 13ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT พบว่า ปรากฏแถบการสั่นของ N-H Stretching ที่ตำแหน่ง $3,274\text{--}3,276\text{ cm}^{-1}$ (Chitichotpanya et al., 2017) ที่ตำแหน่ง $1,621\text{--}1,624\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของหมู่เอไมด์ปฐมภูมิ ตำแหน่ง $1,500\text{--}1,513\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของหมู่เอไมด์ทุติยภูมิ ตำแหน่ง $1,226\text{--}1,227\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของหมู่เอไมด์ตติยภูมิ (Dayioglu et al., 2015) ตำแหน่ง $461\text{--}615\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของ Zn-O

bonding จึงสามารถระบุได้ว่ามีนาโนซิงค์ออกไซด์เข้าไปยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นไหม ส่วนตำแหน่ง $793\text{--}794\text{ cm}^{-1}$ และ $1,035\text{--}1,038\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของ Al-O และ Si-O ตามลำดับ (Khataee et al., 2016) จึงสามารถระบุได้ว่ามีมอนต์มอริลโลไนต์เข้าไปยึดเกาะอยู่บนผิวของเส้นไหม



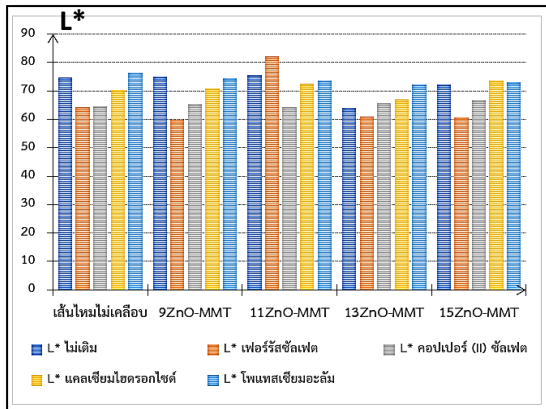
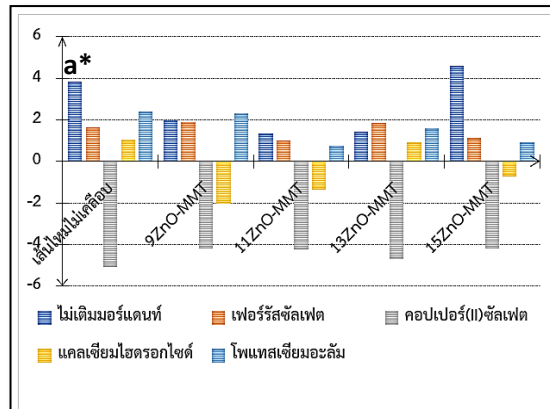
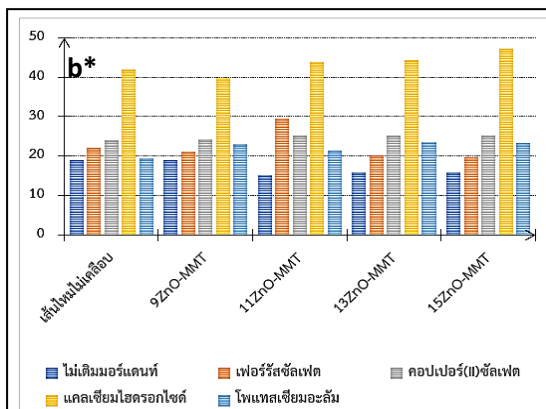
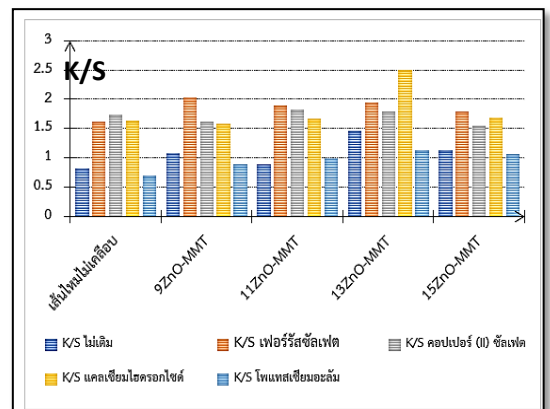
รูปที่ 2 เปรียบเทียบ IR Spectrum ของ Montmorillonite กับเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบ 9ZnO-MMT, 11ZnO-MMT, 13ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT

เมื่อนำเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมสารช่วยติดสีชนิดต่าง ๆ พบว่า สารช่วยติดแต่ละชนิดมีผลทำให้เส้นไหมมีเฉดสีที่ต่างกัน สีที่ได้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารช่วยติดสี ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ เช่น โพแทสเซียมอะลัม จะช่วยจับยึดสีกับเส้นใยและ ช่วยให้สีสด สว่างขึ้น มักใช้กับการย้อมสี น้ำตาล-เหลือง-เขียว คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ช่วยให้สีติดและเข้มขึ้นมักใช้กับการย้อมสีเขียว-น้ำตาล เพอร์รัสซัลเฟต จะช่วยให้สีติดเส้นใยและช่วยเปลี่ยนเฉดสีธรรมชาติเดิมจากพีชเดิมเป็นสีโทน เทา-ดำ ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะช่วยให้สีสดใสเปลี่ยนสีธรรมชาติจากเดิมให้เป็นสีโทนเหลือง (ศศิธร และสุดาพร, 2555) ดังงานวิจัยนี้จะได้เส้นไหมเฉดสีน้ำตาลเมื่อไม่เติมสารช่วยติดสี เนื่องจากสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นสีน้ำตาล จะได้สีน้ำตาลที่สว่างขึ้นเมื่อใช้โพแทสเซียมอะลัมเป็นสารช่วยติดสี ได้เฉดสีเขียวเมื่อใช้คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสี ได้เฉดสีเหลืองเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสี และได้เฉดสีน้ำตาลดำเมื่อใช้เพอร์รัสซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสี เมื่อเปรียบเทียบเฉดสีของเส้นไหมที่เคลือบ ZnO-MMT ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สีที่ได้ใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 3



(ก) ไม่เติมสารช่วยติดสี (ข) โพแทสเซียมอะลัม (ค) คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (ง) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (จ) เพอร์รัสซัลเฟต

รูปที่ 3 เฉดสีของเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมสารช่วยติดสีต่าง ๆ

(ก) ค่า L^* (ข) ค่า a^* (ค) b^* (ง) ค่า K/S รูปที่ 4 ค่า L^* a^* b^* และ K/S ของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบ ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่

เติมสารช่วยติดสีชนิดต่าง ๆ

ค่า L^* แสดงถึง ความสว่างของสี

ค่า a^* แสดงถึง ความเป็นสีแดง (ค่าบวก) หรือสีเขียว (ค่าลบ)

ค่า b^* แสดงถึง ความเป็นสีเหลือง (ค่าบวก) หรือสีน้ำเงิน (ค่าลบ)

ค่า K/S แสดงถึง ค่าความเข้มสี

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริไลต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่เติมโพแทสเซียมอะลัมเป็นสารช่วยติดสี ให้ค่าความสว่างของสี (L^*) สูงสุดเท่ากับ 76.47 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 11ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่เติมเฟอร์รัสซัลเฟต ให้ค่าความสว่างของสี (L^*) สูงสุดเท่ากับ 82.25 เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริไลต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยไม่เติมสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงสุดเท่ากับ 3.83 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยไม่เติมสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงสุดเท่ากับ 4.60 เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริไลต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) สูงสุดเท่ากับ -5.09 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 13ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) สูงสุดเท่ากับ -4.71 เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริไลต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงสุด

เท่ากับ 41.97 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงสุดเท่ากับ 47.08 เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมนิโคต (II) ซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุดเท่ากับ 1.74 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 13ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมนิโคตไฮดรอกไซด์ ให้ค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุดเท่ากับ 2.51

เส้นไหมที่มีสีสว่างที่สุด คือ เส้นไหมที่เคลือบ 11ZnO-MMT ย้อมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมนิโคตซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสี เส้นไหมที่ให้โทนสีแดงมากที่สุดคือเส้นไหมที่เคลือบ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ ไม่เติมสารช่วยติดสีใด ๆ เส้นไหมที่ให้โทนสีเขียวมากที่สุด คือ เส้นไหมที่ไม่เคลือบและเติมนิโคต (II) ซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสี เส้นไหมที่ให้โทนสีเหลืองมากที่สุด คือ เส้นไหมที่เคลือบ 15ZnO-MMT และใช้นิโคตไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสี และเส้นไหมที่ให้ค่าความเข้มสีมากที่สุดคือเส้นไหมที่เคลือบ 13ZnO-MMT และเติมนิโคตไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสี จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า L^* a^* b^* และ K/S เส้นไหมที่ไม่ได้เคลือบกับเส้นไหมที่เคลือบ ZnO-MMT นั้น มีเพียงค่าความเป็นสีเขียว (a^*) เพียงค่าเดียวที่เส้นไหมไม่ได้เคลือบมีค่ามากกว่า

ตารางที่ 1 ความสามารถในการต้านรังสียูวีของเส้นไหมที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT)

ชื่อตัวอย่าง	ค่า UPF	ความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต
เส้นไหมไม่เคลือบ	7.92	น้อย
เส้นไหมเคลือบ 9ZnO-MMT	44.86	ดีเยี่ยม
เส้นไหมเคลือบ 15ZnO-MMT	29.47	ดีมาก

จากตารางที่ 1 พบว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ มีค่า UPF 7.92 ส่วนเส้นไหมที่เคลือบด้วย 9ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT มีค่า UPF 44.86 และ 29.47 ตามลำดับ เนื่องจาก 9ZnO-MMT มีอนุภาคเล็กกว่าจึงสามารถกระจายตัวและเข้าไปยึดเกาะจับกับเส้นใยไหมได้ดีกว่า ทำให้สามารถสะท้อนแสงและรังสียูวีได้ดียิ่งขึ้น จึงสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีเยี่ยม เนื่องจากพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง (Becheri et al., 2008) อาจกล่าวได้ว่า 9ZnO-MMT มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตดีที่สุด

ตารางที่ 2 ความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเส้นไหมที่เคลือบ 9ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมนิโคตซัลเฟตชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ชนิดสารช่วยติดสี	ระดับความคงทน		
		สีต่อแสง	สีต่อการซัก	
			ซัก 1 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
เส้นไหมไม่เคลือบ	ไม่เติม	4	4-5	3
	เพอร์รัสซัลเฟต	4	5	4
	คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	4	5	3-4
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	4	4-5	2-3
	โพแทสเซียมอะลัม	4	4-5	2-3
เส้นไหมเคลือบ	ไม่เติม	4-5	4-5	3
	เพอร์รัสซัลเฟต	4-5	5	4-5

9ZnO-MMT	คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	4-5	5	4
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	4-5	4-5	3-4
	โพแทสเซียมอะลัม	4-5	5	4-5
เส้นไหมเคลือบ	ไม่เติม	4-5	4-5	3
	เฟอร์รัสซัลเฟต	4-5	5	4-5
	คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	4-5	5	4-5
15ZnO-MMT	คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	4-5	5	4-5
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	4-5	4-5	3-4
	โพแทสเซียมอะลัม	4-5	5	4-5

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง และความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเส้นไหมที่เคลือบ 9ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมน้ำสารช่วยติดชนิดต่าง ๆ พบว่า ความคงทนของสีต่อแสงเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4-5 (ดีถึงดีมาก) และความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหม ทั้งที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบ ZnO-MMT ความเข้มข้นต่าง ๆ หลังซักครั้งที่ 1 เฉลี่ยอยู่ในระดับ 4-5 (ดีถึงดีมาก) และเมื่อซัก 10 ครั้ง ความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่เคลือบด้วย 9ZnO-MMT, และ 15ZnO-MMT อยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟต คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมอะลัม

บทสรุป

เส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้สารช่วยติดชนิดต่าง ๆ พบว่า สีที่ได้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารช่วยติดสี โดยเมื่อไม่เติมน้ำสารช่วยติดสี และใช้โพแทสเซียมอะลัมเป็นสารช่วยติดสีจะได้เส้นไหมสีน้ำตาล เมื่อใช้คอปเปอร์เป็นสารช่วยติดสีจะได้เส้นไหมสีเขียว เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารช่วยติดสีจะได้เส้นไหมสีเหลือง และเมื่อใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีจะได้เส้นไหมสีน้ำตาลดำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ พบว่า สีที่ได้ใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้น แต่จะมีสีซีดจางลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับเส้นไหมที่ไม่ได้เคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ การศึกษาการต้านรังสี UV ของเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ (ZnO-MMT) พบว่า เส้นไหมที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ (ZnO-MMT) มีความสามารถป้องกันรังสี UV ได้ในระดับดีถึงดีเยี่ยม ส่วนความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมน้ำสารช่วยติดสีชนิดต่าง ๆ พบว่า ความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) และความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมทั้งที่ไม่เคลือบและเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ (ZnO-MMT) ซักครั้งที่ 1 อยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) และเมื่อซัก 10 ครั้ง ความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่เคลือบด้วย 9ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT อยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟต คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมอะลัม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กิตติชัย ศรีสำแดง, ภาณุวัฒน์ ดวงรัศมี และมงคล นิยมมูล. (2558). การเตรียมซิงค์ออกไซด์ฟิล์มมอนต์มอริลโลไนต์ สำหรับใช้ในการบำบัดน้ำเสีย. โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.
- ลักขณา เบ็ญจวรรณ และคณะ. (2553). คุณค่าทางโภชนาการและผลิตภัณฑ์จากน้ำคั้นใบข้าว. ค้นเมื่อ 31 กรกฎาคม 2564. https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php?KPS/search_detail/result/309144.
- ศศิธร โนนสังข์ และสุตาพร ตั้งควนิช. (2555). การพัฒนาสมบัติของเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยสัณฐานวิทยาแบบผงจากใบสาบเสือ. ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 393-400.
- ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. (2563). ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Ricrbery). ค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2563. <https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/articles-ricersc-rgdu-knowledge/29-2015-03-27-02-0415/53-riceberry>.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (2561). สร้างสรรค์คุณค่าข้าวไทยด้วยเกษตรกรปลอดภัยและนวัตกรรมที่ยั่งยืน. ค้นเมื่อ 31 กรกฎาคม 2564. https://oer.learn.in.th/search_detail/result/117059.
- Becheri A., Durr M., Nostro P.L. and Baglioni P. (2008). Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: application to textiles as UV-absorbers. *Journal of Nanoparticle Research*. 10: 679-689.
- Chitchotpanya P. and Chayanisa C. (2017). Vitro assessment of sericin silver functionalized silk fabrics for enhanced UV protection and antibacterial properties using experimental design. *Coatings*. 7(9): 1-17.
- Dayioglu H., Kut D., Merdan N. and Canbolat S. (2015). The effect of dyeing properties of fixing agent and plasma treatment on silk fabric dyed with natural dye extract obtained from *Sambucus ebulus* L. plant. In World conference on technology, innovation and entrepreneurship. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 195: 1609-1617.
- El-Hady. A., Farouk A. and Sharaf S. (2013). Flame retardancy and UV protection of cotton based fabrics using nano ZnO and polycarboxylic acids. *Carbohydrate polymers*. 92(1): 400-406.
- Francisco R., Valenzuela D. and Santo P.D.S. (2001). Studies on the acid activation of Brazilian smectitic clay. *Quimica Nova*. 24(3): 345-353.
- Karimi L., Mirjalili M., Yazdanshenas M.E. and Nazari A. (2010). Effect of nano TiO₂ on self-cleaning property of cross-linking cotton fabric with succinic acid under UV irradiation. *Photochemistry and photobiology*. 86(5): 1030-1037.
- Khataee A., Kiransan M., Karaca S. and Arefi-Oskoui S. (2016). Preparation and characterization of ZnO/MMT nanocomposite for photocatalytic ozonation of a disperse dye. *Turkish Journal of Chemistry*. (40): 546-564.

Received: February 20, 2023; Revised: April 18, 2023; Accepted: April 19, 2023

การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจาก ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม
เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอม

Essential oils distillations from *Limnophila aromatica* (Lam.) Merr.,
Alpinia malaccensis, *Zanthoxylum limonella* Alston
and *Kaempferia galanga* for use as ingredients in the perfumery industry

นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์^{1*} นิรุต อ่อนสลุง¹ สมพร หงษ์ก่ง¹ สุริยาโชค เพิ่มพูน¹

วัชรายุทธ ลำดวน¹ และสุรเชษฐ์ สีขำนานู¹

Namphon Pipatpaiboon^{1*}, Nirut Onsalung¹, Somporn Hongkong¹,

Suriya Chokphoemphun¹, Watcharayut Lumdoun¹ and Surachet Srichamnan¹

¹คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร

¹Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon Campus, Sakon Nakhon Province

*Corresponding Author E-mail Address: Namphon.ph@muti.ac.th

บทคัดย่อ

จากการทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจาก ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอม โดยน้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบ 4 ชนิด ถูกนำมาเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ ลักษณะของสี กลิ่น ความหนาแน่น เพื่อใช้เป็นแนวทางนำไปสู่การผลิตหรือการใช้ น้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอม ซึ่งจำเป็นต้องทราบถึงข้อมูลเหล่านี้ จากการทดลองพบว่าวัตถุดิบที่มีร้อยละของน้ำมันหอมระเหยมากที่สุดได้แก่ มะแขว่น ที่ค่าสูงถึง 1.34 %v/w ลำดับถัดมาได้แก่ ผักแขยง เปราะหอม และข่าป่า ที่มีค่า 0.67, 0.46 และ 0.45 %v/w ตามลำดับ โดยลักษณะของสีของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ทั้งหมดมีลักษณะสีเหลืองจางไปจนถึงสีเหลืองเข้มและมีความใส ไม่ขุ่น กลิ่นมีความชัดเจนโดดเด่นตามลักษณะวัตถุดิบที่นำมาสกัดและเมื่อสัมผัสร่างกาย กลิ่นยังคงติดทนอยู่ได้เป็นเวลานานหลายชั่วโมง เมื่อพิจารณาผลการศึกษาความหนาแน่นน้ำมันหอมระเหยโดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและการวัด พบว่า ความหนาแน่นที่ได้จากการคำนวณและการวัดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่ากันในวัตถุดิบทั้งหมดที่ทำการทดลอง สุดท้ายเมื่อพิจารณาเรื่องกลิ่นหรือ Note ของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด พบว่ามี Note ของน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันไปตามลักษณะของกลิ่นที่สัมผัสได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยพบว่าน้ำมันหอมระเหย มะแขว่น และข่าป่า มีลักษณะของกลิ่นอยู่ในกลุ่ม Top note น้ำมันหอมระเหยผักแขยง ลักษณะของกลิ่นจัดอยู่ในกลุ่มของ Middle note และสุดท้าย น้ำมันหอมระเหย เปราะหอม จะมีลักษณะของกลิ่นอยู่ในกลุ่ม Base note โดยจากข้อมูลการทดลองครั้งนี้พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด มีความคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมน้ำหอมได้

คำสำคัญ: น้ำหอม น้ำมันหอมระเหย กลิ่น ความหนาแน่น การกลั่น

Abstract

From the experimental distillation of essential oils from *Limnophila aromatica* (Lam.) Merr., *Alpinia malaccensis*, *Zanthoxylum limonella* Alston and *Kaempferia galanga* for use as ingredients in the perfume industry. Essential oils from 4 types of raw materials were compared in the quantity of distilled essential oils, color characteristics, scent, and density to be used as a guideline leading to the production or use of essential oils as ingredients in the perfume industry. It is necessary to know this information. From the experiments, it was found that the raw material with the highest percentage of essential oil was *Zanthoxylum limonella* at 1.34 %v/w. Next was from *Limnophila aromatica* (Lam.) Merr., *Kaempferia galanga* and *Alpinia malaccensis* with values of 0.67, 0.46 and 0.45%v/w respectively. The color characteristics of all distilled essential oils are pale yellow to dark yellow and are clear, not cloudy. The scent has a clear, distinctive scent according to the nature of the raw materials that are extracted and when it touches the body. The scent still lasts for several hours. When considering the results of the study of essential oil density by comparing the calculated and measured values. It was found that the calculated and measured densities were similar or equal in all the experimental materials. Finally, when considering the scent or note of each essential oil, it was found that each type of essential oil had different notes according to the nature of the scent that could be sensed at each time. It was found that *Zanthoxylum limonella* Alston essential oils and *Alpinia malaccensis* had characteristic scent in the top note group. *Limnophila aromatica* (Lam.) Merr. essential oil the nature of the scent will be classified in the Middle note group. *Kaempferia galanga* essential oil there will be a characteristic of the scent in the base note group. From the data of this experiment, it was found that essential oils from all 4 raw materials were suitable for use as ingredients in the fragrance industry.

Keywords: Perfume, Essentials oil, Scent, Density, Distillation

บทนำ

ปัจจุบันน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรและพืชในท้องถิ่น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากความโดดเด่นในด้านกลิ่นที่หอม แปลกใหม่ เอกลักษณ์ของกลิ่น และคุณสมบัติทางยาที่ดี ซึ่งในอดีตน้ำมันหอมระเหยจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไป เช่น น้ำยาล้างจาน สบู่ ยาสระผม โลชั่น น้ำยาปรับอากาศ สเปรย์ไล่แมลง หรือโลชั่นทาผิว เป็นต้น จวบจนปัจจุบันก็มีการพัฒนารูปแบบการใช้งานสู่การใช้งานในส่วนของการสปา อโรมา หรือการรักษาบรรเทาอาการต่าง ๆ เช่นใช้ในการให้กลิ่นหอมเพื่อสร้างบรรยากาศต่าง ๆ โดยการใช้สารสกัดจากใบเตยผลิตเป็นเจลปรับอากาศ (น้องนุช, 2545) การนำน้ำมันหอมระเหยจากใบโหระพามาใช้ในการดับกลิ่นทุเรียน (ภาณุพงศ์, 2562) การใช้น้ำมันหอมระเหยและกลิ่นมาช่วยบรรเทาอาการนอนไม่หลับ (ปรธมมาศ, 2565) หรือการนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในการนวดสปาต่าง ๆ เช่น การใช้น้ำมันหอมระเหยจากเศษรากไม้เทพทาโรมาผลิตน้ำมันเพื่อใช้ในการนวดสปา (จิตตานันท์, 2553) การใช้น้ำมันหอมระเหยมะเขว่นนวดเพื่อบรรเทาฤทธิ์การปวดกล้ามเนื้อบริเวณน่อง (จรีภรณ์, 2564) การนวดด้วยน้ำมันไพลเพื่อลดการปวดคอ บ่า ไหล่ ซึ่งการนวดด้วยน้ำมันไพลทำให้อาการปวดลดลงได้ (อำพน, 2561) ซึ่งตัวอย่างการใช้งานน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยที่กล่าวมาเป็นที่รู้จัก

และใช้อย่างแพร่หลายมาช้านานจากอดีตจนถึงปัจจุบัน แต่ที่น่าสนใจมากกว่านั้น ปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันหอมระเหยไทยมาใช้ในการปรุงน้ำหอมในกลุ่มนักปรุงน้ำหอม หรือ Perfumer โดยการผสมน้ำหอมไทยเพิ่มเติมในน้ำหอมต่างๆ เพื่อให้เกิดกลิ่นใหม่สำหรับเป็นน้ำหอมใช้ทั่วไป แล้วยังนำไปสร้างกลิ่นใหม่ให้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เพื่อให้เกิดความโดดเด่นเรื่องกลิ่นที่ไม่ซ้ำกับกลิ่นอื่น ๆ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป จึงจำเป็นต้องมีการผสมหรือปรุงกลิ่นใหม่ขึ้นมาโดยการใช้น้ำมันหอมระเหยหลากหลายชนิดมาผสมกัน และในจำนวนนั้นที่กำลังได้รับความสนใจในการนำมาใช้ปรุงกลิ่นน้ำหอมเพิ่มมากขึ้น คือ น้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย โดยเมื่อได้น้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยมาแล้วก็จะถูกนำไปผสมกับน้ำมันหอมระเหยที่มาจากต่างประเทศ หรือน้ำมันหอมระเหยสังเคราะห์ต่าง ๆ โดยมุ่งเน้นเพื่อให้เกิดกลิ่นใหม่ที่หอมโดดเด่น มีเอกลักษณ์ ตามที่นักปรุงกลิ่นต้องการ และสามารถนำกลิ่นเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในทางการค้าได้ในอนาคตต่อไป โดยงานวิจัยนี้จะนำเสนอการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย 4 ชนิดได้แก่ ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม เพื่อศึกษาถึงร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ ในรูปแบบ %v/w และ %w/w ลักษณะของกลิ่นน้ำมันหอมระเหยที่ได้ Note ของกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด เพื่อเป็นแนวทางในการนำน้ำมันหอมระเหยทั้ง 4 ชนิดไปใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอมต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัตถุดิบในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยเพื่อทำการศึกษาแนวทางการผลิตน้ำมันหอมระเหยเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอม ครั้งนี้สนใจพืชสมุนไพรไทย 4 ชนิดได้แก่ ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม โดยพืชที่กล่าวมานี้มีความน่าสนใจในเรื่องของลักษณะและกลิ่นหอมที่มีความเฉพาะตัว เช่น ผักแขยง เป็นพืชล้มลุกอายุ 1 ปี จะมีกลิ่นหอมฉุนเป็นเอกลักษณ์ มีความคล้ายน้ำมันสนแต่มีลักษณะของกลิ่นที่ฉุนรุนแรงกว่า จากงานวิจัยในอดีตยังพบว่าสารสกัดจากผักแขยงสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรคในอาหารได้เป็นอย่างดี (กานดา, 2551) และการสูดดมน้ำมันหอมระเหยผักแขยงยังมีผลต่อความจำ และอารมณ์ของผู้ที่สูดดม (ธัญญลักษณ์, 2565) โดยการทดลองในครั้งนี้ผักแขยงที่นำมาทดลองกลั่นเป็นผักแขยงที่ปลูกเพื่อทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหยโดยเฉพาะ มีอายุการปลูก 10 เดือน ในพื้นที่ปลูกอำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร ข่าป่า เป็นพืชล้มลุกสามารถมีอายุได้หลายปี มีกลิ่นที่หอมฉุนและเผ็ดร้อน เมื่อสูดดมจะรู้สึกเย็นโล่งจะมูก และที่สำคัญที่พบในพืชตระกูลข่าจะกระตุ้นการทำงานของกระเพาะ ลดเชื้อแบคทีเรีย ข่าเชื้อราในพืช เป็นต้น (บงกช, 2545) ข่าป่าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นข่าป่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในพื้นที่สวนป่าส่วนบุคคล อายุประมาณ 2 ปี จากพื้นที่อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร มะแขว่น เป็นไม้ยืนต้นมีอายุได้หลายสิบปี มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ เมื่อดมแล้วรู้สึกผ่อนคลาย ในอดีตยังมีการศึกษาและทดลองนำสารสกัดจากมะแขว่นมาใช้เป็นส่วนผสมในการพัฒนาโลชั่นนวดมะแขว่น (สิริภา, 2562) โดยวัตถุดิบมะแขว่นที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นมะแขว่นที่ปลูกไว้เก็บผลผลิตเพื่อจำหน่ายสำหรับปรุงอาหาร โดยจัดซื้อมาจากเขตพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ และเปราะหอม เป็นพืชล้มลุก ตระกูลห้วสามารถมีอายุได้หลายปี มีกลิ่นหอมละมุนอ่อน ๆ ในอดีตมีการนำเปราะหอมไปใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นส่วนผสมในลูกประคบเพื่อลดอาการปวดเกร็งกล้ามเนื้อ (จิตรลดา, 2552) โดยเปราะหอมที่นำมากลั่นมีอายุ 2 ปี ปลูกในพื้นที่ อำเภอนาแห้ว จังหวัดเลย ซึ่งเมื่อพิจารณาเบื้องต้นจากวัตถุดิบ 4 ชนิดที่กล่าวมาแล้วมีความน่าสนใจในแง่ของลักษณะของพืช และกลิ่น ซึ่งเมื่อนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นแล้วจะมีความแตกต่างในด้านของกลิ่นที่สามารถนำไปเปรียบเทียบและพัฒนาต่อยอดเป็นส่วนผสมของน้ำมันหอมได้เป็นอย่างดี โดยตัวอย่างพืชทั้ง 4 ชนิด แสดงในรูปที่ 1 โดยวัตถุดิบจากพืชทั้ง 4 ชนิด ก่อนทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจะถูกล้าง ทำความสะอาด ก่อนทำการกลั่นแยกน้ำมันหอมระเหยเสมอ และมีการสุ่มตัวอย่างจากวัตถุดิบไปทำการอบแห้ง เพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำมันหอมระเหยในลำดับต่อไป



(ก) ผักขมิ้น



(ข) ข่าป่า



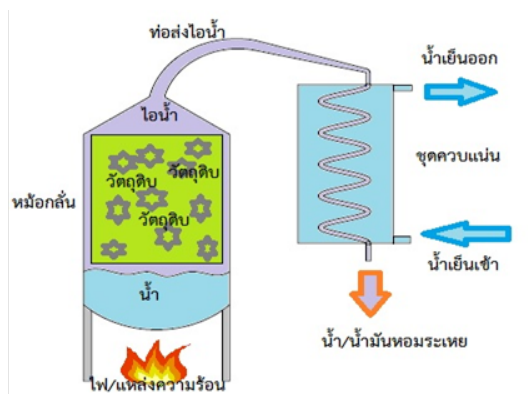
(ค) มะแขว่น



(ง) เปราะหอม

รูปที่ 1 แสดงรูปพืชที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 ชนิด

สำหรับการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืช 4 ชนิด ใช้สถานที่ในการทดลองคือ โรงงานกลั่นน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์ ต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร โดยอุปกรณ์สำหรับการกลั่นน้ำมันหอมระเหยในครั้งนี้ ใช้เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย ขนาดความจุหม้อกลั่น 500 ลิตร ใช้อุณหภูมิในการกลั่น 100 องศาเซลเซียส และใช้น้ำเย็น อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 32 ลิตร/นาที่ ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับชุดควบแน่น เพื่อให้ไอน้ำจากหม้อกลั่น ควบแน่นกลับเป็นของเหลว ใช้วิธีการกลั่นแบบกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation) เป็นลักษณะการกลั่นที่ให้อัตราการระเหยอยู่ในระดับที่ปลอดภัยในหม้อกลั่นลักษณะคล้ายการนึ่ง จากนั้นนำไอน้ำจากหม้อกลั่นส่งไปยังชุดควบแน่นเพื่อทำการควบแน่นไอน้ำทั้งหมดกลับเป็นของเหลว แล้วจึงดำเนินการแยกน้ำมันหอมระเหยมาทำการ วัดปริมาณ ชั่งน้ำหนัก เพื่อเก็บข้อมูลในการวิเคราะห์ในลำดับถัดไป โดยวัสดุที่ใช้ประกอบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยทั้งหมดทำจากสแตนเลส 304 หนา 3 มิลลิเมตร ชุดหม้อกลั่นเป็นผนังสองชั้นระหว่างชั้นบุด้วยฉนวนกันความร้อนเซรามิกไฟเบอร์ หนา 50 มิลลิเมตร เพื่อช่วยให้รักษาความร้อนในหม้อกลั่นและป้องกันอันตรายจากการสัมผัสความร้อนขณะใช้งาน ให้ความร้อนด้วยหัวแก๊สแอลพีจี kb10 อัตราการป้อนแก๊สแอลพีจี 0.22 กิโลกรัม/นาที่ ควบคุมการป้อนแก๊สด้วยชุดปรับแรงดันแก๊ส (LPG Regulator) เพื่อควบคุมการป้อนแก๊สให้คงที่ตลอดการใช้งาน โดยลักษณะพื้นที่โรงงานกลั่นน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์ ต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร ที่ใช้เป็นพื้นที่ในการทดลองและเก็บข้อมูล ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โรงงานกลั่นน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์ต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

วิธีการทดลอง เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบจากพืชทั้ง 4 ชนิด ไว้ให้เพียงพอสำหรับการกลั่นและเก็บข้อมูล โดยการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืช 4 ชนิดนี้ จะทำการแยกกลั่นพืชทั้งหมดและพืชแต่ละชนิดจะทำการทดลองกลั่นแยกทั้งหมด 3 การทดลอง รวมเป็นการทดลองทั้งหมด 12 การทดลอง การทดลองหนึ่งครั้งใช้เวลากลั่นน้ำมันหอมระเหยทั้งหมด 6 ชั่วโมง เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นเพื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยวัตถุดิบประเภท ผักแขยง และมะแขว่น ไม่ต้องทำการบดหรือสับสามารถทำความสะอาดแล้วนำเข้าเครื่องกลั่นได้เลย ในส่วนของ ข่าป่า และเปราะหอม จะต้องทำการสับก่อนทำการกลั่น เพื่อให้สามารถกลั่นแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากวัตถุดิบได้ดียิ่งขึ้น ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยสามารถทำได้ทั้งจากวัตถุดิบสดและแห้ง และสามารถทำการกลั่นได้จากวัตถุดิบที่ปริมาณในการกลั่นต่อรอบไม่เท่ากันได้เช่นกัน แต่สุดท้ายการเก็บข้อมูลก็จะสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ด้วยการวิเคราะห์ร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ในรูปแบบ %v/w และ %w/w ซึ่งมีงานวิจัยในอดีตที่มีการนำเสนอในรูปแบบเดียวกันยกตัวอย่างเช่น การทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพร 10 ชนิดด้วยเครื่องกลั่นแก้วมาตรฐานและเครื่องกลั่นระดับชุมชน (พงษ์ศักดิ์, 2555) และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรด้วยวิธีการกลั่น (วรณี, 2549) ในส่วนน้ำหนักวัตถุดิบที่นำมาคำนวณ ถึงแม้ตอนกลั่นจะใช้วัตถุดิบสดแต่ในขั้นตอนคำนวณจะใช้การคำนวณเป็นน้ำหนักแห้ง ซึ่งอาศัยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างทำการอบแห้งไว้ก่อนแล้ว และในส่วนของวัตถุดิบแห้งหรือมะแขว่นนั้น สามารถนำเข้ากลั่นได้ทันที โดยใช้น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบในการคำนวณได้โดยตรง ซึ่งเมื่อใช้วิธีการนี้ก็จะทำให้สามารถเปรียบเทียบร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้กับงานวิจัยอื่น ๆ หรือวัตถุดิบอื่น ๆ ได้สะดวกและเป็นสากลยิ่งขึ้น สำหรับการทดลองนี้ก่อนทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหยวัตถุดิบทุกชนิดสำหรับการทดลองครั้งนี้จะต้องล้างหรือทำความสะอาดเพื่อแยกเศษดิน และสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ปะปนมาออกก่อนทำการกลั่นเสมอเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยยกตัวอย่างการเตรียมตัวอย่างจากวัตถุดิบประเภทข่าป่า ก่อนทำการกลั่นจะต้องล้างทำความสะอาด และทำการสับด้วยเครื่องสับ ก่อนชั่งน้ำหนักเพื่อบรรจุเข้าเครื่องกลั่นต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3 การเตรียมวัตถุดิบประเภทข่าป่า



(ก) ข่าป่าชุดใหม่



(ข) ข่าป่าตัดราก



(ก) ข่าปาล้างทำความสะอาด



(ข) ข่าป่าสับ

รูปที่ 3 ตัวอย่างการเตรียมวัตถุดิบประเภทข่าป่าสำหรับการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

ในกรณีวัตถุดิบในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยเป็นวัตถุดิบสด วิธีการคำนวณปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ จะเริ่มจากการคำนวณหาน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบที่ได้มาโดยการสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบบางส่วนไปอบแห้ง เพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบต่าง โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) และ (2)

$$\%dry = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

$$W_{dry} = \frac{\%dry \times W_{wet}}{100} \quad (2)$$

เมื่อ	%dry	คือ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ (%)
	W_1	คือ น้ำหนักตัวอย่างวัตถุดิบก่อนอบ (กรัม)
	W_2	คือ น้ำหนักตัวอย่างวัตถุดิบหลังอบ (กรัม)
	W_{dry}	คือ น้ำหนักแห้งวัตถุดิบที่ใช้กลั่น (กิโลกรัม)
	W_{wet}	คือ น้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้การกลั่น (กิโลกรัม)

โดยสมการ (1) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหา %dry หรือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ โดยการนำตัวอย่างวัตถุดิบที่จะใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยไปทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ตู้อบความร้อน Drying Oven sov 140B (Temperature Range 10- 300°C , ±1.0°C) ในการอบแห้งเพื่อเก็บข้อมูล เมื่อได้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบแล้ว นำมาใช้เป็นค่ามาตรฐานเพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ และใช้ข้อมูลน้ำหนักแห้งจากการคำนวณที่ได้จากสมการที่ (2) ไปใช้ในการคำนวณร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ใน 2 รูปแบบ เพื่อใช้ในการนำเสนอ ดังแสดงวิธีการคำนวณตามสมการที่ (3) และ (4)

$$\%v/w = \frac{V_{oil}}{W_{dry}} \times 100 \quad (3)$$

$$\%w/w = \frac{W_{oil}}{W_{dry}} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ $\%v_{oil}/w_{dry}$ คือ ร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้
เมื่อเปรียบเทียบปริมาตรน้ำมันหอมระเหยต่อน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ
 V_{oil} คือ ปริมาตรน้ำมันหอมระเหยวัตถุดิบ (มิลลิลิตร)
 $\%w_{oil}/w_{dry}$ คือ ร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้
เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยต่อน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ
 W_{oil} คือ น้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยวัตถุดิบ (กรัม)

โดยการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ทำการอบแห้งหาน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ ผักแขยง ข่าป่า และเปราะหอม จำนวนอย่างละ 5 ตัวอย่าง เพื่อคำนวณหาน้ำหนักแห้ง ในส่วนของมะแขว่นเป็นวัตถุดิบที่แห้งอยู่แล้วสามารถใช้น้ำหนักวัตถุดิบแห้งในการคำนวณเปรียบเทียบได้จึงไม่ได้นำมาอบแห้งและคำนวณ จากนั้นนำข้อมูลน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งมาคำนวณตามสมการที่ (1) และ (2) เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ เพื่อใช้ในการคำนวณ ตามสมการ (3) และ (4) ต่อไป

น้ำหอม (Perfume) หมายถึง สิ่งที่ดมหรือได้กลิ่นแล้วรู้สึกพึงใจซึ่งเป็นความหมายโดยทั่วไป และในความเข้าใจของคนทั่วไปมักมีความหมายถึง น้ำที่มีกลิ่นหอมที่ใช้พรมร่างกายแต่ในความเป็นจริงแล้วนั้น น้ำหอมยังมีความหมายครอบคลุมไปถึงกลิ่นของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ด้วย ซึ่งการที่จะได้มาซึ่งน้ำหอมนั้นจะได้มาจากวัตถุดิบ 3 แหล่งคือ น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) ที่สกัดได้จากธรรมชาติโดยตรง น้ำมันหอมระเหยสังเคราะห์ (Aroma chemicals) และ น้ำมันสัตว์ (Animal product) ซึ่งทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมามีราคา กลิ่น และคุณสมบัติแตกต่างกันมาก (วรพล และอรธกร, 2545)

น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) หมายถึง สิ่งของต่าง ๆ ที่ระเหยในอุณหภูมิห้องหรือระเหยเมื่อถูกความร้อน และให้กลิ่นที่เป็นที่พึงพอใจแก่มนุษย์ (คู่มือน้ำหอมและการประยุกต์ใช้ในการสอน และการวิจัยเครื่องสำอาง, 2562) ซึ่งถูกแบ่งระดับของกลิ่นออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ Top note เป็นกลิ่นที่ส่งกลิ่นออกมาเป็นตัวแรกสุดที่สัมผัส จะอยู่ได้ประมาณช่วง 15-20 นาที Middle note เป็นกลิ่นของน้ำหอมหลักในน้ำหอมชนิดนั้นจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 15 นาที - 5 ชั่วโมง หลังจากใส่น้ำหอม Base note หรือ Lasting note เป็นกลิ่นของน้ำหอมในช่วงที่น้ำหอมส่วนมากกลิ่นกลืนไปแล้ว Base note จึงเป็นกลิ่นท้ายสุดของน้ำหอมที่จะได้กลิ่นและสามารถอยู่ได้นานถึง 5 ชั่วโมง - 24 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้น ดังนั้นการผลิตน้ำมันหอมระเหยนอกจากสนใจเรื่องคุณสมบัติทางยา สารสำคัญต่าง ๆ แล้ว ควรทำการศึกษาเรื่องกลิ่นเพื่อให้สามารถนำไปสู่การใช้งานในอุตสาหกรรมน้ำหอมได้ดียิ่งขึ้น

ผลการวิจัย

จากสมการที่ (1) และ (2) ได้นำตัวอย่างวัตถุดิบ ถ้าเป็นประเภทวัตถุดิบสดจะถูกสุ่มตัวอย่างมาอบแห้ง จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อนำมาอบแห้งตามอุณหภูมิ และเวลาที่กำหนดไว้แล้ว นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ผักแขยง ข้าป่า เปราะหอม มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง 16.88% , 24.30% และ 12.85% ตามลำดับ ในส่วนของมะแขว่นเป็นวัตถุดิบแห้งจึงใช้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง 100% ในการวิเคราะห์และคำนวณในส่วนที่เกี่ยวข้องต่อไป โดยสรุปเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด แสดงในตารางที่ 1

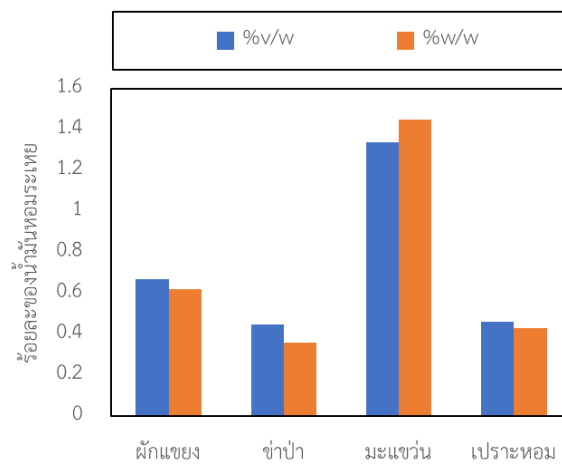
ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งวัตถุดิบของวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด

วัตถุดิบ		%dry
ชนิดวัตถุดิบ	ประเภทวัตถุดิบ (สด/แห้ง)	
ผักแขยง	สด	16.88
ข้าป่า	สด	24.30
มะแขว่น	แห้ง	100.00
เปราะหอม	สด	12.85

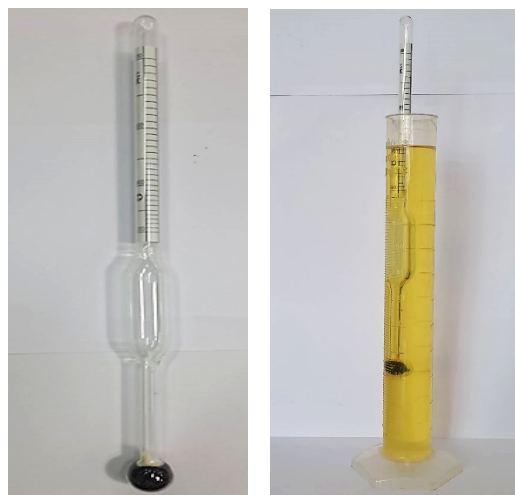
เมื่อพิจารณาผลการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ได้แสดงในตารางที่ 2 โดยเป็นการสรุปการทดลองจากวัตถุดิบ 4 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด โดยแต่ละชนิดทำการกลั่นเพื่อเก็บข้อมูล 3 การทดลอง รวม 12 การทดลอง แล้วนำข้อมูลมาคำนวณสรุปและนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยการทดลองจากวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด จากการทดลองพบว่า วัตถุดิบที่มีร้อยละของน้ำมันหอมระเหยมากที่สุดคือ มะแขว่น มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยคิดเป็น 1.34%v/w หรือ 1.45%w/w รองลงมาได้แก่ผักแขยงที่มีร้อยละของน้ำมันหอมระเหย 0.67%v/w หรือ 0.62%w/w ลำดับถัดมาคือ เปราะหอม ที่มีร้อยละของน้ำมันหอมระเหย 0.46%v/w หรือ 0.43%w/w และสุดท้ายวัตถุดิบข้าป่า มีร้อยละของน้ำมันหอมระเหย 0.45%v/w หรือ 0.36%w/w ซึ่งจากข้อมูลร้อยละของน้ำมันหอมระเหยจะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างกันของ %v/w และ %w/w จะพบน้ำมันหอมระเหยบางชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในส่วนของ %v/w เช่น ข้าป่า และเปราะหอม มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อพิจารณาร้อยละของน้ำมันหอมระเหยในรูปแบบ %w/w กลับมีค่าต่างกันพอสมควร นั้นเป็นผลมาจากน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 4 งานวิจัยนี้จึงได้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีความหนาแน่นไม่เท่ากันโดยการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยจากการคำนวณและการวัดด้วย Hydrometer ชนิดเบากว่าน้ำ ทำการวัดที่อุณหภูมิ 20°C เพื่อวัดความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ทั้งหมด โดยแสดงภาพตัวอย่างการวัดความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยและอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 5 พบว่าจากข้อมูลการทดลองที่นำมาคำนวณความหนาแน่น จากวัตถุดิบ 4 ชนิด น้ำมันหอมระเหยผักแขยง และเปราะหอม จะมีความหนาแน่นสูง คือ 0.95 และ 0.91 g/cm³ ในส่วนของน้ำมันหอมระเหยจาก มะแขว่น และข้าป่า จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า คือ 0.85 และ 0.81 g/cm³ ซึ่งข้อมูลจากการคำนวณและการวัดก็มีความสอดคล้องกันค่าความหนาแน่นที่ได้จากการวัดซึ่งอาจมีความแตกต่างบ้างเล็กน้อย ดังแสดงเปรียบเทียบข้อมูลความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 4 ชนิด ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบ 4 ชนิด

วัตถุดิบ	น้ำหนักวัตถุดิบ		น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้		ร้อยละ		ความหนาแน่น	
	ก่อนอบ	หลังอบ	W_{oil}	V_{oil}	%v/w	%w/w	g/cm^3	
	(กิโลกรัม)	(กิโลกรัม)	(กรัม)	(มิลลิลิตร)			คำนวณ	วัด
ผักแขยง	100.00	16.88	104.13	113.33	0.67	0.62	0.91	0.89
ข่าป่า	100.00	24.30	88.47	109.00	0.45	0.36	0.81	0.81
มะแขว่น	70.00	70.00	801.17	937.00	1.34	1.45	0.85	0.84
เปราะหอม	100.00	12.85	48.20	50.60	0.46	0.43	0.95	0.94

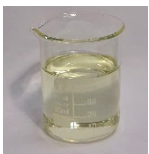


รูปที่ 4 เปรียบร้อยละของน้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบแต่ละชนิด



รูปที่ 5 ตัวอย่างการวัดความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยด้วย Hydrometer

ตารางที่ 3 ลักษณะของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากวัตถุดิบ 4 ชนิด

วัตถุดิบ	ลักษณะของน้ำมันหอมระเหย	ลักษณะ สี และ กลิ่น	Note ของ น้ำมันหอมระเหย
ผักแขยง		ลักษณะใส สีเหลืองเข้ม มีกลิ่นหอมเด่นของผักแขยง มีความหอมละมุน นุ่มนวล กลิ่นติดทน เมื่อสัมผัสผิวหนัง	Middle Note
ข่าป่า		ลักษณะใส สีเหลืองอ่อน กลิ่นหอมของข่า และให้ความรู้สึกเย็น โล่งจมูก และมีความเผ็ดร้อน ให้ความรู้สึกของ Herb กลิ่นจะเด่นในช่วงแรกและค่อย ๆ จางหายไป	Top Note
มะแขว่น		ลักษณะใส สีเหลืองจาง กลิ่นหอมสดชื่น แนว Citrus กลิ่นมีความเด่นชัดในช่วงแรก และค่อยจางหายไป มีความบางและเบาของกลิ่น	Top Note
เปราะหอม		ลักษณะใส สีเหลืองเข้ม ให้ความรู้สึกหอมกลิ่นว่าน กลิ่นมีความหวาน ละมุน อบอวน รู้สึกผ่อนคลาย กลิ่นติดทนและหอมนาน เมื่อสัมผัสผิวหนัง	Base Note

ลักษณะทางกายภาพ กลิ่น และ Note ของน้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดได้แก่ ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม เบื้องต้นพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างในเรื่องของ สีของน้ำมันหอมระเหย ซึ่งสีจะมีลักษณะเป็นสีเหลืองโทนสีจาง อ่อน และเข้มต่างกัน โดยผักแขยง เปราะหอม จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองเข้ม รองลงมา ข่าป่า จะมีเหลืองอ่อนลงเล็กน้อยจากสองชนิดแรก และสุดท้ายมะแขว่น จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองที่ค่อนข้างไปทางสีเหลืองจาง และทั้งสี่ชนิดมีความใส ไม่ขุ่นมัว เมื่อพิจารณาลักษณะของกลิ่นแล้วน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดจะมีกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ชัดเจนตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมากลั่นน้ำมันหอมระเหย และมีลักษณะความหนาความบางที่มักใช้เรียกกับน้ำมันหอมระเหย แต่จริงแล้วสามารถอธิบายด้วยค่าความหนาแน่นในตารางที่ 2 คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่และเบา หรือน้ำหนักจะมีค่าน้อยกว่า 1 g/cm^3 และน้ำมันหอมระเหยที่มีค่าความหนาแน่นสูงก็จะมีค่าความหนาหรือให้ความรู้สึกถึงความหนักของน้ำมันหอมระเหยมากกว่าน้ำมันหอมระเหยที่มีค่าความหนาแน่นต่ำซึ่งจะให้ความรู้สึกบางหรือเบาว่า

สรุป

จากทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจาก ผักแขยง ข่าป่า มะแขว่น และเปราะหอม เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอม พบว่า จากวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างในด้าน ร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ ความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหย ลักษณะของสีและกลิ่น และ Note ของน้ำมันหอมระเหยที่มีความแตกต่างและหลากหลาย สามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอมได้ จากการทดลองพบว่า วัตถุดิบที่มีร้อยละของน้ำมันหอมระเหยมากที่สุดได้แก่ มะแขว่น ที่ค่าร้อยละของน้ำมันหอมระเหยสูงถึง $1.34\% \text{v/w}$ ลำดับถัดมาได้แก่ ผักแขยง เปราะหอม และ ข่าป่า ที่มีค่า 0.67 , 0.46 และ $0.45\% \text{v/w}$ โดยลักษณะของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการทดลอง จะมีสีแตกต่างกันออกไปตามชนิดวัตถุดิบ

โดยมีลักษณะเป็นสีเหลืองจางไปจนสีเหลืองเข้มและมีลักษณะใส ในส่วนของกลิ่นน้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีความเด่นชัดของกลิ่นเพิ่มมากขึ้นจากเดิมและโดดเด่นกว่าตอนที่เป็วัตถุดิบจากวัตถุดิบโดยตรงมาก ความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยจะสัมพันธ์กับความหนา บาง ของการสัมผัสน้ำมันหอมระเหยโดยตรง เช่นน้ำมันหอมระเหยเปราะหอม มีความหนาแน่นวัดได้ 0.94 g/cm^3 ก็จะทำให้ความรู้สึกหนาหรือหนืดกว่า น้ำมันข้าวป่า ที่มีความหนาแน่น 0.81 g/cm^3 เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหยจากการคำนวณและจากการวัดมีค่าใกล้เคียงกันสามารถ จนใช้ข้อมูลจากการคำนวณแทนได้ ในกรณีที่ไม่ม่เครื่องมือวัดความหนาแน่น สุดท้าย Note ของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดพบว่า น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมี Note ของน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันไปตามลักษณะของกลิ่นที่ได้สัมผัสในแต่ละช่วงเวลา โดยพบว่า น้ำมันหอมระเหย มะแขว่น และ ข้าวป่า มีลักษณะของกลิ่นอยู่ในกลุ่ม Top Note ส่วนน้ำมันหอมระเหยผักแขยง ลักษณะของกลิ่นจะจัดให้อยู่ในกลุ่มของ Middle Note และสุดท้าย น้ำมันหอมระเหยเปราะหอม จะมีลักษณะของกลิ่นอยู่ในกลุ่ม Base Note ซึ่งจากทั้งหมดที่กล่าวมานับเป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำไปสู่การใช้งานน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรทั้ง 4 ชนิดที่สามารถใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมน้ำหอมและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงงานกลั่นน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์ต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ในการทดลอง คณาจารย์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ให้คำปรึกษาดำเนินการดำเนินงานวิจัยจนแล้วเสร็จ และ หจก.เจ.เอส.ดี. แมชชีนเนอร์รี่ ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนชุดอุปกรณ์การทดลองเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- กานดา ล้อแก้วมณี, วราพร หนันแดง, ภาณุวัฒน์ คัมภีราวัฒน์ และชินจิต จันทจรูณพงษ์. (2551). การศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากผักแขยงและผักกระโดนน้ำในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Escherichia coli*. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 5 วันที่ 8-9 ธันวาคม 2551: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม. 1321-1328.
- คณะกรรมการจัดการความรู้. (2562). คู่มือน้ำหอมและการประยุกต์ใช้ในการสอนและการวิจัยเครื่องสำอาง. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. เชียงราย. 1-15.
- จิตตานันท์ สรวายเอี่ยม และบงกชรัตน์ ปิตยนต์. (2553). การใช้ประโยชน์น้ำมันหอมระเหยจากเศษรากวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันนวดสำหรับสปา. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 140-147.
- จิตรลดา ปัญญากุล, ภาณุดา วามนตรี และศิริกุล กล้ากุล. (2552). การใช้ลูกประคบกระชายดำ เปราะหอม และไพลเพื่อบรรเทาอาการปวดเกร็งกล้ามเนื้อขา. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. เชียงราย.
- จรัสกรณ อัมพพันธ์ และ นันทกานต์ วุฒิสิลป์. (2564). การพัฒนาน้ำมันนวดที่มีส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหยจากผลมะแขว่นและฤทธิ์บรรเทาปวดที่มีต่อกล้ามเนื้อในผู้เข้าร่วมวิจัยสุขภาพดี. วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 19(1): 147-160.

- ธัญลักษณ์ อุทาทอง, ดุชนัน ศรีธาตุ, พงศธร ทองกระสี และนำพน พิพัฒน์ไพบูลย์. (2565). ประสิทธิภาพของการสูดดมน้ำมันหอมระเหยสมุนไพรพื้นบ้านที่มีผลต่อความจำและอารมณ์ในนักศึกษา. วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 20(1): 29-40.
- น้องนุช เจริญกุล, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และดุชนัน อุดภาพ. (2545). การผลิตเจลปรับอากาศโดยใช้สารหอมที่สกัดได้จากใบเตยหอม. วารสารวิจัย มจร. 2(2): 185-201.
- บงกช นพผล. (2545). การใช้สมุนไพรในการผลิตสัตว์: ข่า. วารสารสัตวแพทย์ มข. 12(2): 28-34.
- ปรรฐมาศ พลธิษฐ์ภคกุล และสุพรรณษา สมวงษ์. (2565). สถานภาพงานวิจัยภูมิปัญญาการใช้น้ำมันหอมระเหยในการบรรเทาอาการนอนไม่หลับ. วารสารศิลปศาสตร์ (วังนางเลิ้ง) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2(1): 1-12.
- พงษ์ศักดิ์ พลเสนา, ยุทธนา บรรจง และลักขณา ต่างใจ. (2555). การทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพร 10 ชนิดด้วยเครื่องกลั่นแก้วมาตรฐาน และเครื่องกลั่นระดับชุมชน. งานสวนพฤกษศาสตร์ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. ฉะเชิงเทรา.
- ภานุพงศ์ โฉมจันทรี และยุวรัตน์ เงินเย็น. (2562). ก้อนหอมดับกลิ่นทุเรียนจากน้ำมันหอมระเหยใบโหระพา. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา). 19(4): 80-85.
- วรรณิ์ ตันกิตติยานนท์. (2549). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรด้วยวิธีการกลั่น. รายงานการวิจัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี.
- วรพล วังฆานนท์ และอรรถกร เก่งพล. (2545). ระบบเชี่ยวชาญในการเลือกกลิ่นน้ำหอมเพื่อผลิตภัณฑ์โดยการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเลือกแนวกลิ่นที่เหมาะสมกับกลุ่มผู้บริโภค. ปรินญาวิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.
- สิริภา ธวัชคำ. (2562). การเตรียมสารสกัดจากมะแขว่นเพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง. ปรินญาวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย.
- อำพล บุญเพียร, วรินทร์ เชิดชูธีรกุล และ สายฝน ตันตะโยธิน. (2561). ประสิทธิภาพของการนวดน้ำมันไพล และน้ำมันปาล์มต่อการปวดกล้ามเนื้อ คอ บ่า ไหล่ ในนักศึกษาวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนภิเษก. วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 18(1): 17-30.

ชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย

Wireless power transmission demonstration kit

บุญตัน สนนน้ำหนัก^{1*} อติสร นวลอ่อน¹ สรายุตร์ สวัสดิ์วงษ์ชัย¹วันทนา สุขมณี¹ บุญยง สิงห์เจริญ¹ สันติ साแก้ว¹ และพงสกร ตอรัมย์¹Boontan Sanannamnak^{1*}, Adisorn Nuanon¹, Sarayuth Sawadwongchai¹,Wantana Sukmanee¹, Boonyung Singjareang¹, Santi Sakaw¹, and Phongsakorn Torrobram¹¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province^{*}Corresponding Author E-mail Address: buntan61@gmail.com

บทคัดย่อ

ชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย และทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ซึ่งใช้หลอดไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 100 วัตต์ ในการทดลอง หลักการทำงานของชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย คือ การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จากขดลวดภาคส่งไปยังขดลวดภาครับเพื่อจ่ายพลังงานให้กับหลอดไฟฟ้า ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายของชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายปรากฏว่า ประสิทธิภาพสูงสุดของชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายระยะที่ 9 เซนติเมตร บรรลุประสิทธิภาพร้อยละ 56.33 ได้กำลังไฟฟ้า 318.99 วัตต์ และประสิทธิภาพต่ำสุดของชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายระยะที่ 40 เซนติเมตร บรรลุประสิทธิภาพร้อยละ 0.12 กำลังไฟฟ้า 0.78 วัตต์

คำสำคัญ: เรโซแนนซ์ ประสิทธิภาพ ฟลูบรีดร์คอนเวอร์เตอร์

Abstract

The wireless power transmission demonstration kit has build to study wireless power transmission and test the efficiency of the wireless power transfer electricity pass lamp bulb rating 220 volt 100 watt. The methodology of the wireless power transmission demonstration is electric power transfer from the transmitting coil to the receiving coil for send energy to electric lamp. The results of the experiment to determine the efficiency of wireless power transfer of the wireless power transmission demonstration set. The results showed that, the maximum efficiency of the wireless power delivery demonstrator occurred at

a distance of 9 centimeters achieving an efficiency of 56.33% at an electric power of 318.99 watt, and the minimum efficiency of the wireless power demonstration set occurring at a distance of 40 centimeters. Had achieved efficiency of 0.12% at the electric power 0.78 watt.

Keywords: Resonance, Efficiency, Full bridge converter

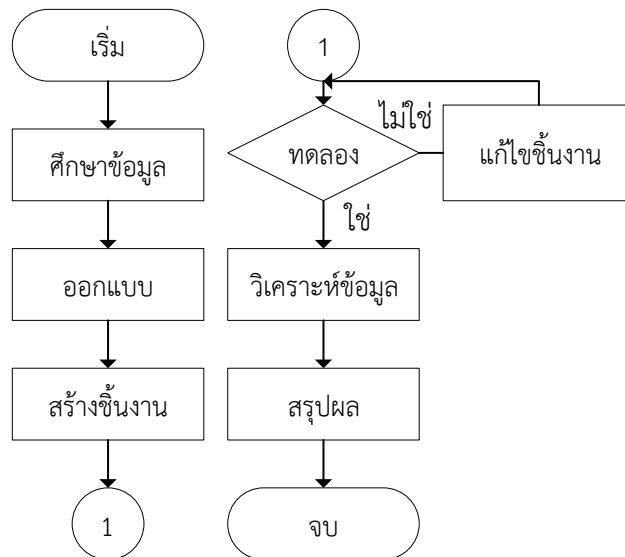
บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ได้มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก และได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ซึ่งข้อดีของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย คือ มีความสะดวกสบายและความปลอดภัย ใช้งานง่าย การใช้งานไม่ซับซ้อน ไม่ต้องเสียบบล็กและถอดปลั๊ก เป็นต้น และในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ในอุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา รวมทั้งคอมพิวเตอร์พกพา ซึ่งผู้ใช้งานเพียงวางอุปกรณ์บนแท่นชาร์จเท่านั้น ระบบจะทำงานเองโดยอัตโนมัติ ทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งาน แต่เนื่องจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบดั้งเดิมอาจจะก่อให้เกิดความไม่สะดวกสบาย และทำให้เกิดความยุ่งยากในการชาร์จพลังงาน (พิชัย และคณะ, 2551; จาตุรงค์ และคณะ, 2554; ยุทธภูมิ และสุรศักดิ์, 2555; ภัทรธร และคณะ, 2556) จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อสายไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ และยังทำให้เสียเวลาในการเชื่อมต่อสายไฟฟ้า แทนที่จะใช้เวลาเหล่านั้นไปทำกิจกรรมอย่างอื่น และการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบดั้งเดิมอาจจะก่อให้เกิดความยากลำบากต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน อาจทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้งาน เนื่องจากต้องสัมผัสกับการเชื่อมต่อสายไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งอาจทำให้ไฟฟ้าดูดผู้ใช้งานได้ และเป็นการลดการสัมผัสชิ้นส่วนและอุปกรณ์โดยตรงซึ่งอาจทำให้เกิดเชื้อโรค (วีระเชษฐ์, 2555; วิชยรินทร์ และอาณัฐ, 2557; อาทิตย์, 2558; วัชร และคณะ, 2560; สารานุกรมเสรี, 2561)

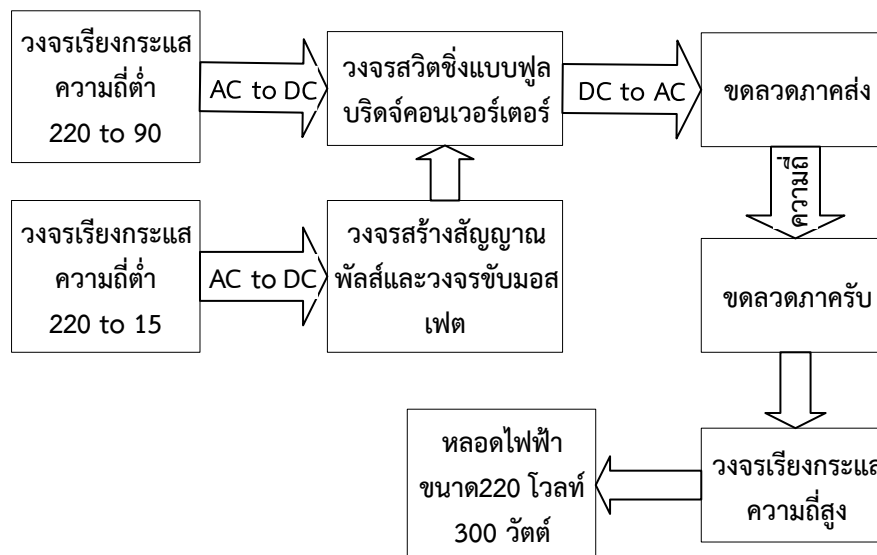
จากปัญหาเหล่านี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายขึ้นมา เพื่อใช้เป็นชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยสามารถทำการชาร์จโดยอัตโนมัติเมื่อวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไว้บนแท่นส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันของเราได้เป็นอย่างมาก ซึ่งมีข้อดีคือระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย สามารถให้ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพื่อสร้างชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย เพื่อเป็นชุดสาธิตที่ใช้ในการศึกษาเทคโนโลยีไฟฟ้าเกี่ยวกับการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยมีหลักการออกแบบชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายนี้ด้วยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีภาคส่งกำลังไฟฟ้าที่มีหน้าที่ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และภาครับที่มีหน้าที่ในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการนำมาสร้างเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อโอนถ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายไปยังหลอดไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ในการออกแบบชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงานวิจัย จึงได้ออกแบบชิ้นงานในส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

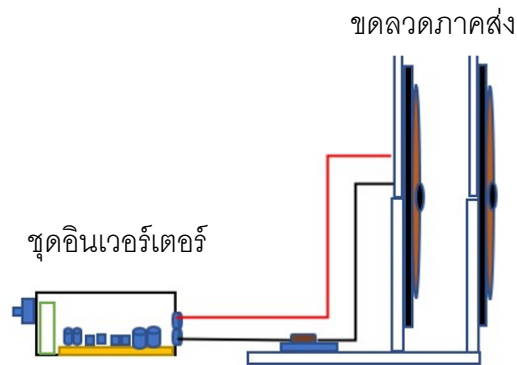


รูปที่ 2 หลักการออกแบบเบื้องต้น

ชุดสวิตติการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายนั้นจะมีอยู่ 2 ส่วนเป็นหลักคือส่วนแรกส่วนที่เป็นภาคส่งกำลัง และส่วนที่สองจะเป็นภาครับกำลังดังรูปที่ 3 โดยในส่วนของภาคส่งกำลังจะทำหน้าที่กำเนิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะประกอบไปด้วยวงจรพาวเวอร์ซัพพลาย วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ วงจรขับมอสเฟต วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ และวงจรเรโซแนนซ์จะประกอบไปด้วยขดลวดทองแดงภาคส่งและตัวเก็บประจุ ต่อมาในส่วนของภาครับกำลังจะทำหน้าที่ในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจากภาคส่งกำลังเพื่อแปลงให้เป็นกระแสไฟฟ้างดังรูปที่ 4

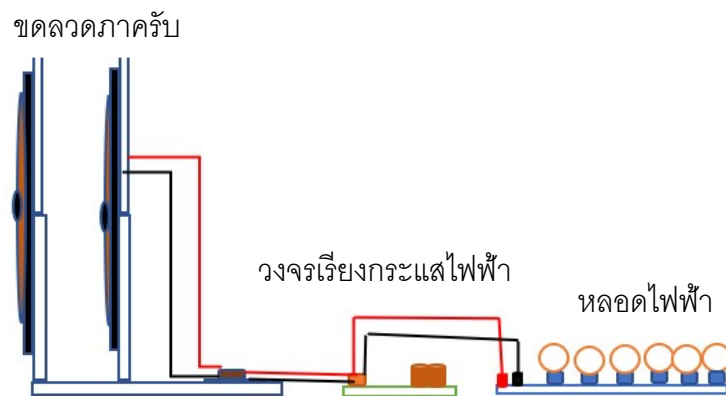
การออกแบบชุดสวิตติการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย

ในส่วนของการสร้างของภาคส่งกำลังไฟฟ้า ได้เลือกใช้แผ่นไม้อัด ขนาด 10 มิลลิเมตร ด้านกว้างมีขนาด 56 เซนติเมตร ด้านยาวมีขนาด 56 เซนติเมตร ความสูง 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างภาคส่งของชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย

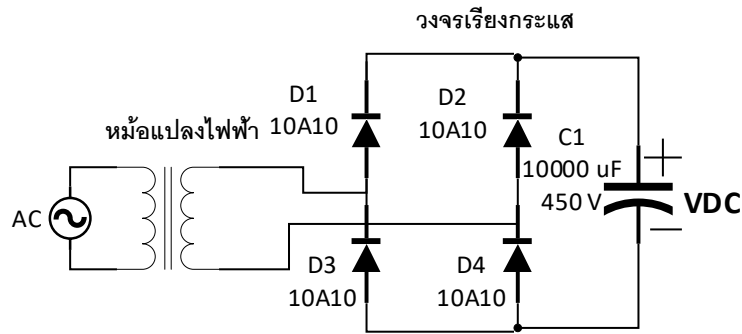
โครงสร้างชุดคอลโทรลภาครับ และชุดลดตัวรับ ความยาวของแผ่นอะคริลิคชุดลดตัวรับ ยาว 59 เซนติเมตร กว้าง 64 เซนติเมตร ในส่วนของโครงสร้างชุดคอลโทรล ใช้แผ่นอะคริลิค 3 มิลลิเมตร กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างภาครับของชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย

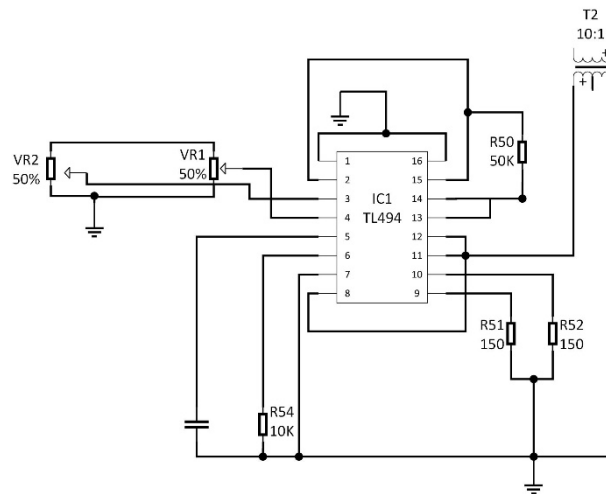
การออกแบบวงจรชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย

วงจรพาวเวอร์ซัพพลาย จะมีด้วยกันอยู่ 2 ส่วน ส่วนแรกจะทำการแปลงแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V AC เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 90 V DC เพื่อจ่ายให้วงจรพาวเวอร์คอนเวอร์เตอร์ ส่วนที่สองจะทำหน้าที่แปลงแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V AC เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 15 V DC เพื่อจ่ายให้วงจรสร้างสัญญาณพัลส์วงจรขับขาเกตมอสเฟต ดังรูปที่ 5



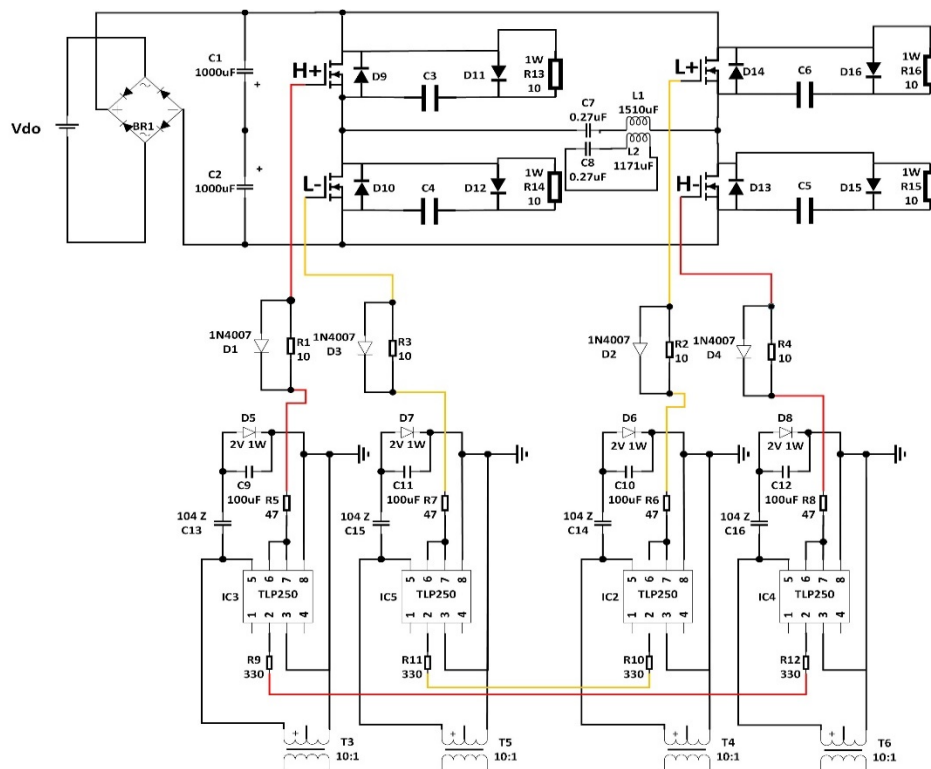
รูปที่ 5 วงจรพาวเวอร์ซัพพลาย

วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ เป็นวงจรที่กำเนิดความถี่สร้างสัญญาณพัลส์เพื่อที่จะส่งสัญญาณพัลส์ให้อิซซียายสัญญาณพัลส์โดยไอซีที่ใช้สร้างสัญญาณใช้เบอร์ TL494 ดังรูปที่ 6



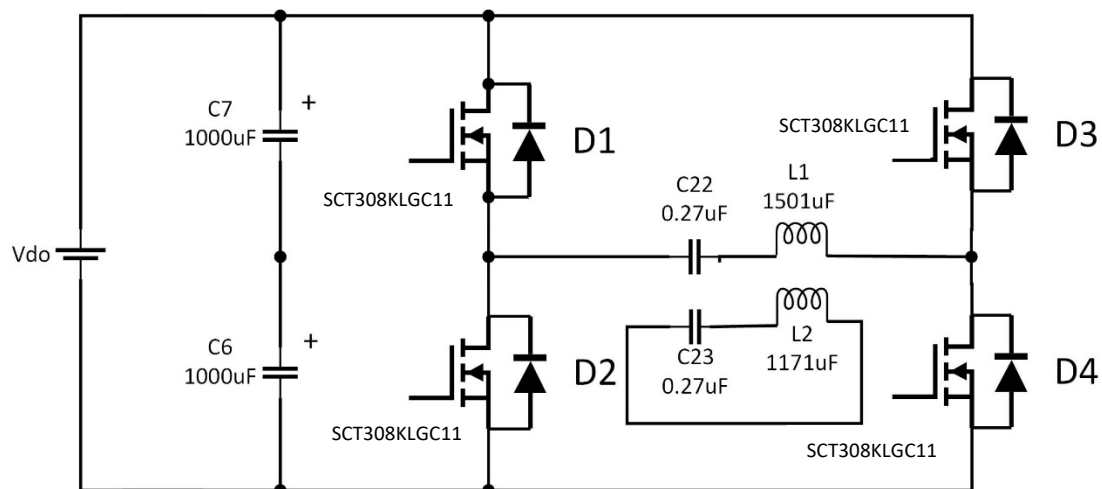
รูปที่ 6 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์

วงจรขับขาคีมอสเฟต ในส่วนของวงจรนี้จะทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณพัลส์เพื่อที่ใช้ในการขับขาคีมอสเฟต โดยใช้ ไอซี TLP250 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 วงจรขับขานมอเตอร์ 4 ตัว

วงจรพาวเวอร์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์จำนวน 4 ตัว ต่อเป็นแบบฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะใช้สำหรับสวิตซ์ทิศทางของกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ ดังรูปที่ 8

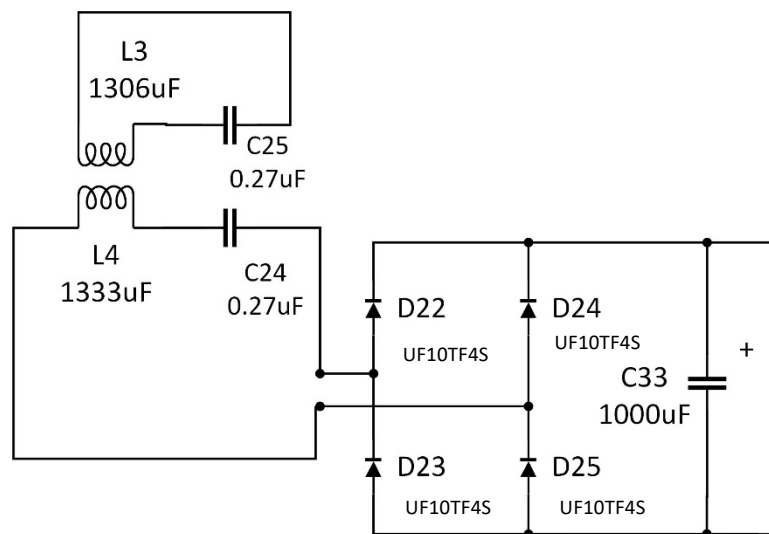


รูปที่ 8 วงจรพาวเวอร์คอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรภาครับของชุดสถานีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย

ขดลวดภาครับ คือขดลวดที่ใช้เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนให้เป็นกระแสไฟฟ้าโดยจะมีลักษณะเหมือนกัน การออกแบบจะใช้เป็นลวดทองแดง ใช้แกนเฟอร์ไรต์เป็นแกนกลางในการพันขดลวดแบบส้อม ซึ่งได้ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเท่ากับ $1510 \mu\text{H}$ โดยต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ ซึ่งค่าของตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ $0.27 \mu\text{F}$ ซึ่งจะต่ออยู่ในวงจรเรียงกระแส ดังรูปที่ 9

วงจรเรียงกระแส คือ วงจรที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากขดลวดภาครับได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าของขดลวดภาคส่ง ดังนั้นจำเป็นต้องทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หลักการออกแบบใช้ไดโอดความถี่สูงเบอร์ STTH3006DPI เพื่อที่สามารถทนความถี่มีค่าสูงจากภาคส่งได้ โดยใช้ไดโอดทั้งหมด 4 ตัว เพื่อทำการเรียงกระแสร่วมกับตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดันให้เรียบ



รูปที่ 9 วงจรเรียงกระแส

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผลการทดสอบวัดกำลังไฟฟ้าอินพุต กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต การเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้าอินพุตและกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต และการหาประสิทธิภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากภาคส่งไปยังภาครับที่ระยะ 9 - 40 เซนติเมตร โดยใช้กับโหลดหลอดไฟขนาด 220 โวลต์ 100 วัตต์ จำนวน 3 หลอด ที่ความถี่ 11.5 กิโลเฮิรตซ์

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าอินพุต

ระยะ (เซนติเมตร)	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (input) (แอมแปร์)	กำลัง (input) (วัตต์)
9	80.2	7.06	566.21
17	84.5	8.07	681.91
25	84.9	7.58	636.72
33	84.9	7.10	602.79
40	85.0	7.44	632.40

จากผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าอินพุตดังตารางที่ 1 กำลังไฟฟ้าอินพุตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 632.40 วัตต์ กระแสไฟฟ้า 7.44 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 85 โวลต์ ที่ระยะ 40 เซนติเมตร และกำลังไฟฟ้าต่ำสุดคือ 566.21 วัตต์ ที่ระยะ 9 เซนติเมตร

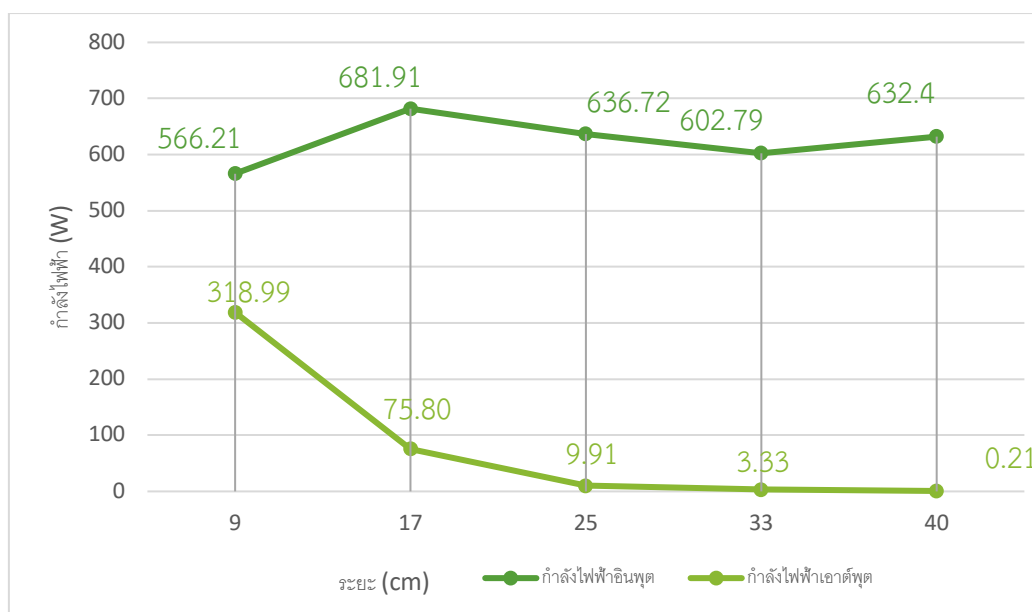
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต

ระยะ (เซนติเมตร)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
9	232.50	1.372	318.99
17	91.00	0.833	75.80
25	22.39	0.443	9.91
33	9.96	0.335	3.33
40	3.69	0.213	0.78

จากผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตดังตารางที่ 2 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 318.99 วัตต์ กระแสไฟฟ้า 1.372 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 232.5 โวลต์ ที่ระยะ 9 เซนติเมตร และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.78 วัตต์ กระแสไฟฟ้า 0.213 แอมแปร์ แรงดัน 3.69 โวลต์ ที่ระยะ 40 เซนติเมตร

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุต กำลังไฟฟ้าอินพุต แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต

ระยะ (เซนติเมตร)	แรงดันไฟฟ้าเข้า (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าออก (โวลต์)	กำลังไฟฟ้าเข้า (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าออก (วัตต์)
9	80.2	232.50	566.21	318.99
17	84.5	91.00	681.91	75.80
25	84.9	22.39	636.72	9.91
33	84.9	9.96	602.79	3.33
40	85.0	3.69	632.40	0.78

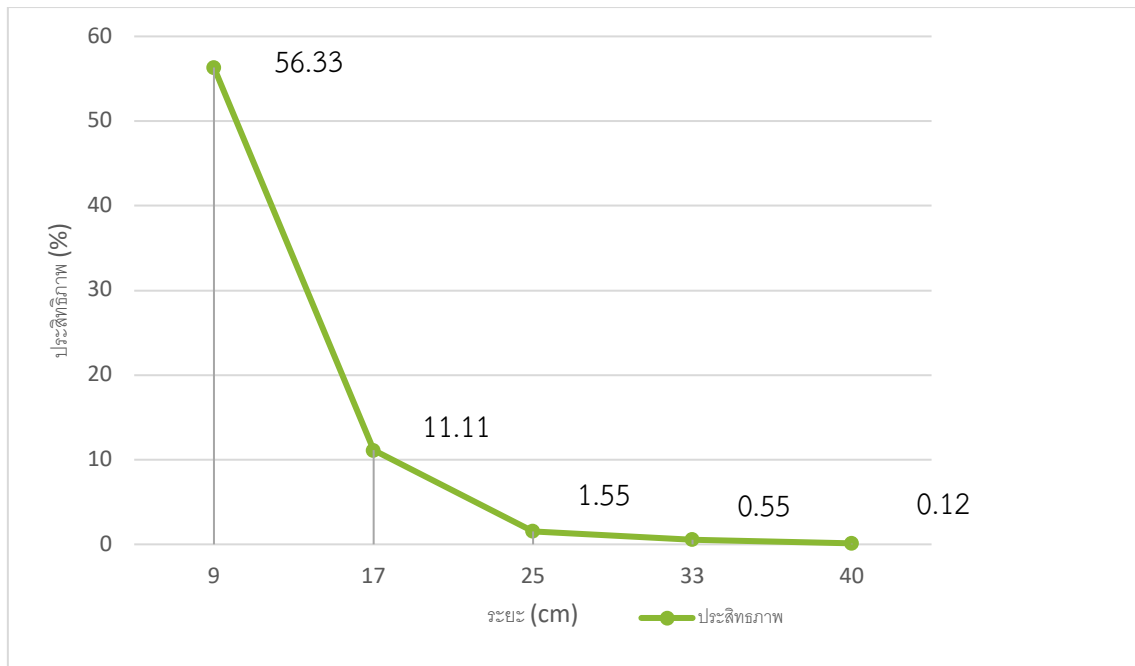


รูปที่ 10 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต

จากผลการทดสอบระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุต กำลังไฟฟ้าอินพุต แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต และ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตดังรูปที่ 9 และกราฟแสดงกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตดังรูปที่ 10 ผลการทดสอบและผลกราฟแสดงการเปรียบเทียบปรากฏว่าที่ กำลังไฟฟ้าอินพุตต่ำสุดคือ 566.21 วัตต์ที่ระยะทางต่ำสุดคือ 9 เซนติเมตร จะได้กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดคือ 318.99 วัตต์ และที่ กำลังไฟฟ้าอินพุตสูงสุดคือ 632.4 วัตต์ ที่ระยะทางสูงสุดคือ 40 เซนติเมตร จะได้กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตต่ำสุดคือ 0.21 วัตต์

ตารางที่ 4 ค่าประสิทธิภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากภาคส่งไปยังภาครับ

ระยะ (เซนติเมตร)	กำลังไฟฟ้าเข้า (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าออก (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)
9	566.21	318.99	56.33
17	681.91	75.80	11.11
25	636.72	9.91	1.55
33	602.79	3.33	0.55
40	632.40	0.78	0.12



รูปที่ 11 กราฟแสดงประสิทธิภาพของชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ที่ระยะทาง 9 ถึง 40 เซนติเมตร

จากผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากภาคส่งไปยังภาครับดังตารางที่ 4 และรูปที่ 11 ผลการทดสอบปรากฏว่าที่กำลังไฟฟ้าขาเข้ามีค่าเท่ากับ 566.21 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ 318.99 วัตต์ทำให้บรรลุประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 56.33 ที่ระยะทาง 9 เซนติเมตร และที่ระยะทางเท่ากับ 40 เซนติเมตรได้กำลังไฟฟ้าขาเข้ามีค่าเท่ากับ 632.40 วัตต์และกำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ 0.78 วัตต์ ซึ่งบรรลุประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 0.12

บทสรุป

ชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย เป็นการออกแบบและสร้างชิ้นงานเพื่อใช้ในการจำลอง ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ความถี่เรโซแนนซ์เพื่อหาความถี่ที่ทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์สามารถทำได้โดยการปรับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายแรงดัน ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวด ซึ่งจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น วงจรเรียงกระแสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเรกติไฟเออร์คือวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณกระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์เป็นอุปกรณ์สวิตชิงที่สร้างแรงดันเอาต์พุต AC แบบคลื่นสี่เหลี่ยม มอสเฟตกำลังสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึงประมาณ 200 - 400 กิโลเฮิร์ตซ์ เนื่องจากใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้นมอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยวงจรถูกจัด เป็นวงจรที่กำเนิดรูปคลื่นพัลส์หรือรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งขนาดและความถี่ของรูปคลื่นที่เกิดขึ้นสามารถกำหนดได้ตามที่ออกแบบใช้งานการสร้างชุดสาธิตการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยภาพรวมของชุดสาธิตการจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายจะมีอยู่สองส่วนด้วยกัน คือส่วนที่เป็นภาคส่งกำลังจะทำหน้าที่ส่งคลื่นสนามแม่เหล็กไปยังภาครับ ภาครับจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงคลื่นสนามแม่เหล็กให้เป็นกระแสไฟฟ้า

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการส่งกำลังไฟฟ้าของชุดสวิตช์การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ปรากฏว่าประสิทธิภาพที่สูงสุดของชุดสวิตช์การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายนี้ อยู่ที่ระยะ 9 เซนติเมตร และมีกระแสเอาต์พุตอยู่ที่ 1.372 แอมแปร์ แรงดันอยู่ที่ 232.5 โวลต์ ได้กำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 318.99 วัตต์ คิดเป็นร้อยละ 56.33 และประสิทธิภาพที่ต่ำของชุดสวิตช์การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายอยู่ที่ระยะ 40 เซนติเมตร กระแสเอาต์พุต 0.213 แอมแปร์ แรงดัน 3.69 โวลต์ จะได้กำลังไฟฟ้า 0.78 วัตต์ คิดเป็นร้อยละ 0.12 สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่หลากหลายนั้นควรนำไปใช้งานที่ระยะทาง 9 เซนติเมตรจึงจะเหมาะสมที่สุด เนื่องจากที่ระยะทาง 9 เซนติเมตรนั้น ได้รับกำลังไฟฟ้าสำหรับรองรับภาระทางไฟฟ้าถึง 318.99 วัตต์ บรรลุประสิทธิภาพสูงสุดถึงร้อยละ 56.33 ที่ระยะทางห่างไกลจากนี้ไม่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานเนื่องจากกำลังทางไฟฟ้าที่ไหลทางไฟฟ้ามีค่าลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- จาตุรงค์ ขาวสุข และทศพล สารนิม. (2554). เครื่องส่งกำลังไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก. ปรินิพนธ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ภัทรธร เผ่าจินดา, ภาณุ มัทธวรรตน์, ภูธร สุขวนิช และราชการ สุวสุวรรณ. (2556). การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านอากาศสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า. ปรินิพนธ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ยุทธภูมิ ชุมภักดี และสุรศักดิ์ เทียบโฮม. (2555). เครื่องส่งกำลังไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า. ปรินิพนธ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พิชัย ใจจิต, จิรโชติ กุญแจทอง, และวิชญ์ ปัญญา. (2551). การส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายในบ้านพักอาศัย. ปรินิพนธ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วัชร อมศิริ, พัฒนวิ โพธิ์ทอง, ธนสร ภิญโญนาบตร และวันชัย ไพจิตโรจนา. (2560). ระบบรักษาประสิทธิภาพการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25(5): 870-879.
- วิษเณทร์ มหาวงค์ และอาณัฐ หมดเบ็ญหมด. (2557). เครื่องส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับชาร์จประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่กรณีศึกษาในรถบังคับวิทยุ. ปรินิพนธ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- วีระเชษฐ์ ชันเงิน. (2555). ระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย. สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: กรุงเทพฯ.
- สารานุกรมเสรี. (2561). รถยนต์พลังงานไฟฟ้า. ค้นเมื่อวันที่ 14 กันยายน 2562 . <https://th.wikipedia.org>.
- อาทิตย์ ฤทธิผล. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยออกแบบ โครงสร้างให้เหมาะสมและใช้ค่าตัวเก็บประจุปฏิกิริยาที่แม่นยำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Received: December 13, 2022; Revised: April 4, 2023; Accepted: April 26, 2023

การประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SCoT

Assessment of the genetic relationship of aromatic rice using SCoT molecular marker

วลัยลักษณ์ ถึงคุณ¹ ภัทรวรินทร์ โพธิ์ศรี¹ และปัทมา ศรีน้ำเงิน^{1*}Walailuk ThungKhoon¹, Pattarawarin Phosri¹ and Pattama Srinamngoen^{1*}¹คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี¹Faculty of Science and Arts, Burapha University, Chanthaburi Campus, Chanthaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address: pattama@buu.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นแหล่งที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวสูง ลักษณะความหอมจัดเป็นลักษณะที่มีความสำคัญสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวพันธุ์นั้น ๆ ได้ และอัลลีลของยีนความหอมกระจายอยู่ในพันธุ์ข้าวโดยเฉพาะพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกทุกภาคของประเทศ การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอม 26 พันธุ์/สายพันธุ์ โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล Start Codon Targets (SCoT) จำนวน 14 ไพรเมอร์ และสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวหอมเหล่านี้ ด้วยโปรแกรม NTSYSpc 2.2 ผลการศึกษาพบว่า ไพรเมอร์ SCoT ให้แถบลายพิมพ์ดีเอ็นเอเฉลี่ย 12.21 แถบต่อไพรเมอร์ โดยมีแถบดีเอ็นเอที่แสดงความแตกต่างระหว่างข้าวแต่ละสายพันธุ์เฉลี่ย 11.07 แถบ คิดเป็น 90.64 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ พบความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมมีค่าอยู่ในช่วง 0.60-0.86 และมีค่า Cophenetic correlation (r) อยู่ที่ 0.76 ถือว่าจัดกลุ่มได้ปานกลาง และสามารถจำแนกกลุ่มความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมได้ 2 กลุ่มใหญ่โดยสอดคล้องไปกับลักษณะภายนอกที่ปรากฏ จากข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนเพื่ออนุรักษ์พันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ข้าวหอม เครื่องหมายโมเลกุล SCoT ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม

Abstract

Thailand has significant genetic diversity in rice varieties, and aroma is a primary characteristic representing a high value-added trait. And alleles of the aroma gene are distributed in rice varieties, especially landrace varieties grown in all country regions. This research aimed to study the genetic diversity of 26 aromatic rice varieties using the Start Codon Targets (SCoT) molecular marker. Fourteen SCoT primers

were used, and the phylogenetic tree was constructed using NTSYSpc 2.2 program. The results showed that the genetic relationship and cophenetic correlation (r) were 0.60-0.86 and 0.76, respectively. According to genotypic data, the dendrogram showing genetic relationships among 26 aromatic rice genotypes was classified into two major groups according to phenotypic data. This result indicated that the dendrogram might be reliable. The obtained data can be used to plan for future rice conservation and breeding programs.

Keywords: Aromatic rice, SCoT molecular marker, Genetic relationship

บทนำ

กลิ่นหอมของข้าวถือเป็นคุณภาพอย่างหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมให้ข้าวน่ารับประทาน และเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ข้าวหอมมีคุณค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นการต้องการของผู้บริโภคทั่วโลก สารให้ความหอมในข้าวเกิดจากการผสมผสานของสารหอมระเหยมากมายหลายชนิด จนกลายเป็นกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์และเป็นจุดเด่นของข้าวหอมแต่ละพันธุ์ การรวมตัวของสารหอมระเหยหลายชนิดที่พบในข้าวนี้ ทำให้ข้าวแต่ละชนิดมีกลิ่นหอมแตกต่างกัน (Bryant and McClung, 2011) เช่น ข้าวหอมมะลิ 105 จะมีกลิ่นหอมเหมือนดอกไม้ (Flowery aroma) ข้าวบาสมามีกลิ่นหอมเหมือนถั่วหอม (Nutty aroma) เป็นต้น อย่างไรก็ตามสารให้ความหอมหลักที่พบในข้าว คือ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) โดยมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย สามารถพบได้ทุกส่วนของต้นข้าว ยกเว้นส่วนของราก (Buttery et al., 1983) นอกจากนี้ยังมีข้าวหอมที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย เช่น ปทุมธานี 1 กข33 กข6 และหอมชลสิทธิ์ เป็นต้น

ตลาดข้าวหอมและข้าวหอมมะลิของไทยมีแนวโน้มที่ดี ข้าวหอมถือว่าเป็นข้าวที่นอกจากหอมแล้วยังมีปริมาณอะไมโลสต่ำ พบว่าตลาดข้าวหอมจีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เช่นเดียวกับตลาดแอฟริกา และ EU โดยจะเน้นเพิ่มคือเป็นข้าวอินทรีย์ เนื่องจากส่วนใหญ่นำไปแปรรูปเป็นพาสตาและเครื่องสำอาง ในขณะที่เดียวกันประเทศไทยมีศักยภาพในการทำตลาดข้าวสี เพราะมีพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่หลากหลาย ซึ่งข้าวสีนับเป็นข้าวโภชนาการสูง ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มข้าวสีประเภท ข้าวกล้องที่มีสีแดง ม่วง เข้ม และสีดำ สารที่มีคุณค่าทางอาหารจะพบที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว เช่น สารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยชะลอการเสื่อมของเซลล์ ลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งได้แก่ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) แกมมาโอไรซานอล (Gamma oryzanol) วิตามินอี ในกลุ่มโทโคฟีรอล ฟลาโวนอยด์ ฟีนอลิก เป็นต้น ตลาดจีนชอบบริโภคข้าวสีแดง ตลาดไต้หวันชอบบริโภคข้าวสีดำ (กรมพัฒนาสังคมและสวัสดิการ, 2560) ทำให้โปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในปัจจุบันให้ความสำคัญในด้านคุณภาพทางโภชนาการและความพึงพอใจของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม ความใกล้ชิดหรือความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมนับเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์พืช การรวบรวมและรักษาเชื้อพันธุกรรมของพืช เพื่อใช้ในการพัฒนาพันธุ์พืชและเพื่อความมั่นคงทางอาหารในอนาคต ประเทศไทยมีฐานความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวสูงมาก ทั้งระหว่างพันธุ์/สายพันธุ์แท้ และพันธุ์พื้นเมืองที่กระจายอยู่ตามท้องถิ่นต่าง ๆ (นันทกา และคณะ, 2561) ศูนย์ปฏิบัติการและเก็บเมล็ดเชื้อพันธุ์ข้าวแห่งชาติ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีได้รวบรวมอนุรักษ์ข้าวปลูกทุกชนิดไว้ประมาณ 24,000 ตัวอย่าง จัดเป็นข้าวพื้นเมืองทั่วประเทศมากกว่า 18,000 ตัวอย่าง ข้าวสายพันธุ์ดีมากกว่า 2,000 ตัวอย่าง ข้าวพันธุ์รับรองมากกว่า 100 ตัวอย่าง ข้าวสายพันธุ์ต่างประเทศมากกว่า 3,000 ตัวอย่าง ข้าวป่ามากกว่า 1,000 ตัวอย่าง และข้าวอื่น ๆ (*Oryza glaberrima*) จำนวน 19 ตัวอย่าง จากการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมืองที่สูงจำนวน 7 ชื่อพันธุ์ จำนวน 28 ประชากรในเขตภาคเหนือของประเทศไทยโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล microsatellites และเครื่องหมายจาก organelle เพื่อจำแนกชนิดข้าวระหว่าง Indica และ Japonica พบว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงมากโดยมีพันธุกรรมเป็นชนิด

Tropical japonica 84 เปอร์เซนต์ และ Indica 16 เปอร์เซนต์ ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะทางสัณฐานและพันธุกรรมที่เกิดจากการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมท้องถิ่นและการทำการเกษตรแบบดั้งเดิม (สิรินทร์ และคณะ, 2562) ปัจจุบันเครื่องหมายโมเลกุลนิยมนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการใช้ศึกษาความหลากหลายหรือความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม เนื่องจากสามารถตรวจสอบได้ในระดับจีโนมโดยไม่มีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์การค้าโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) และ Simple-sequence Repeats (SSRs) (Ravi et al., 2003) การใช้เครื่องหมายโมเลกุล SSR เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวหอม (Sajib et al., 2012) การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมและโครงสร้างประชากรของข้าวพื้นเมืองของไทยโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล Single Nucleotide Polymorphism (SNP) (Aesomnuk et al., 2021) การใช้เครื่องหมายโมเลกุล Start Codon Targeted Polymorphism (SCoT) เพื่อประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์ใหม่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ (Patidar et al., 2022)

เครื่องหมายโมเลกุล SCoT เป็นเครื่องหมายโมเลกุลที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Collard and Mackill (2009) โดยใช้ไพรเมอร์ ชนิด Universal มีขนาด 18 นิวคลีโอไทด์ เพียงชนิดเดียวในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) และแยกขนาดผลผลิตที่ได้ด้วยอะกาโรสเจล ซึ่งเทคนิคการใช้เครื่องหมายโมเลกุล SCoT สามารถทำได้ง่าย ค่าใช้ไม่สูงและสามารถใช้ระบุความแตกต่างทางพันธุกรรมของพืชได้ การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความใกล้ชิดหรือความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SCoT ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคัดเลือกพันธุ์ การผสมพันธุ์ในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การรวบรวมพันธุ์ข้าวหอม

เก็บรวบรวมพันธุ์/สายพันธุ์ข้าวหอม (เป็นข้าวที่มีกลิ่นหอมเมื่อหุงต้ม) และไม่หอมจากแหล่งอนุรักษ์พันธุ์ข้าวจังหวัดพิษณุโลก จังหวัดปทุมธานี และจันทบุรี จำนวน 26 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ หอมพญาแม่ทองดำ (MaeTongDum) หอมนิล (KhomNil) Blackberry หอมมะลิสีสุรินทร์ หอมนิลจักรพรรดิ (NiUakabpat) หอมคำสุตะบุตร (Sutabut) หอมกระดังงา (KraDungnga) หอมสุโขทัย (Sukothai) หอมดอกมะขาม (Dokmakham) หอมพวง (Phoung) หอมชลสิทธิ์ (Cholasit) หอมลูกช้าง (LookLung) หอมพิษณุโลก (Pitsanulok) เกยไชย (Kaychai) หอมจำปา (Jumpa) โซมาลี (Somali) หอมนางฟ้า (Nangpha) หอมพันทอง (Punchang) หน่วยเชื้อ (Nuikuu) หอมนาคา (Naka) หอมพม่า (Pamai) หอมภูพาน (Phupan) หอมราชินี (Rachini) ขาวตาแห้ง (Khao Tah Haeng) และข้าวญี่ปุ่นโคชิฮิการิ (Koshihikari) โดยมีข้าวสายพันธุ์มาตรฐานคือ ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105)

การเพาะเมล็ดพันธุ์ การสกัดดีเอ็นเอ การตรวจสอบคุณภาพ และการเก็บข้อมูลองค์ประกอบเมล็ด

นำตัวอย่างเมล็ดข้าวมาเพาะบนกระดาษเพาะเมล็ดที่ชุ่มไปด้วยน้ำ จากนั้นบ่มในตู้เพาะเมล็ดพันธุ์เป็นเวลา 3-5 วัน เมื่เมล็ดงอกแล้วทำการย้ายลงปลูกในกระถาง จนต้นกล้าอายุประมาณ 2 สัปดาห์ ตัดใบอ่อนเพื่อนำมาสกัดดีเอ็นเอในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป Tiangen (Tiangen Biotech (Beijing) Co., Ltd.) จากนั้นละลายดีเอ็นเอที่ได้ด้วยสารละลาย TE ทำการตรวจสอบคุณภาพและปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยเครื่อง NanoDrop spectrophotometer (NanoDrop™2000c Spectrophotometers, Thermo Scientific™) และเทคนิคอะกาโรสเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสโดยใช้เจลอะกาโรสความเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์ เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว บันทึกลักษณะภายนอกที่ปรากฏของเมล็ด ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และสีของเมล็ดข้าว เพื่อใช้ในการแปลผลความสัมพันธ์ร่วมกับข้อมูลความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม

การทดสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวหอม

ศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมทั้ง 26 พันธุ์/สายพันธุ์ ด้วยเทคนิค SCoT โดยปฏิกิริยาพีซีอาร์ ประกอบด้วย ดีเอ็นเอต้นแบบความเข้มข้น 25 นาโนกรัม 1x PCR buffer, 0.25 μ M SCoT primer, 0.1 mM dNTPs, 2 mM $MgCl_2$ และ 1 U *Taq* DNA polymerase (ThermoScientific, U.S.A) นำไปใส่เครื่องเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรม (C1000TM Thermal Cycler, Bio-Rad Laboratories, Inc) โดยตั้งโปรแกรมสำหรับเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมาย จำนวน 34 รอบ ดังนี้ อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ตามด้วย อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และ อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที โดยทำการทดสอบกับไพรเมอร์ทั้งหมด 18 คู่ มีเพียง 14 คู่ ที่สามารถเพิ่มปริมาณได้ ได้แก่ SCoT1, SCoT2, SCoT3, SCoT4, SCoT11, SCoT12, SCoT13, SCoT14, SCoT18, SCoT21, SCoT22, SCoT23, SCoT30 และ SCoT35 (ตารางที่ 1) นำผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้มาตรวจสอบความแตกต่างของแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นด้วยเจลอะกาโรสเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบขนาดแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นกับดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 bp DNA ladder (ThermoScientific, U.S.A)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม

การอ่านค่าลายพิมพ์ดีเอ็นเอ หรือ Score แถบดีเอ็นเอที่ได้จากการแยกขนาดความแตกต่าง โดยพิจารณาจากการเกิดขึ้นของแถบดีเอ็นเอ ซึ่งให้ค่าเป็น 1 เมื่อเกิดแถบดีเอ็นเอ ให้ค่า 999 เมื่อคาดการณ์ว่าไม่ขึ้นหรือ missing data และเมื่อไม่เกิดแถบดีเอ็นเอ ให้ค่า 0 นำข้อมูลจากการสกอ์ลายพิมพ์ดีเอ็นเอดังกล่าว ไปใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวอย่างข้าวหอมโดยการจัดกลุ่ม (Cluster analysis) ด้วยวิธี UPGMA (Unweighted pair group method using arithmetic average) โดยใช้โปรแกรม NTSYSpc 2.2

ตารางที่ 1 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของไพรเมอร์ที่ใช้ในการประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SCoT

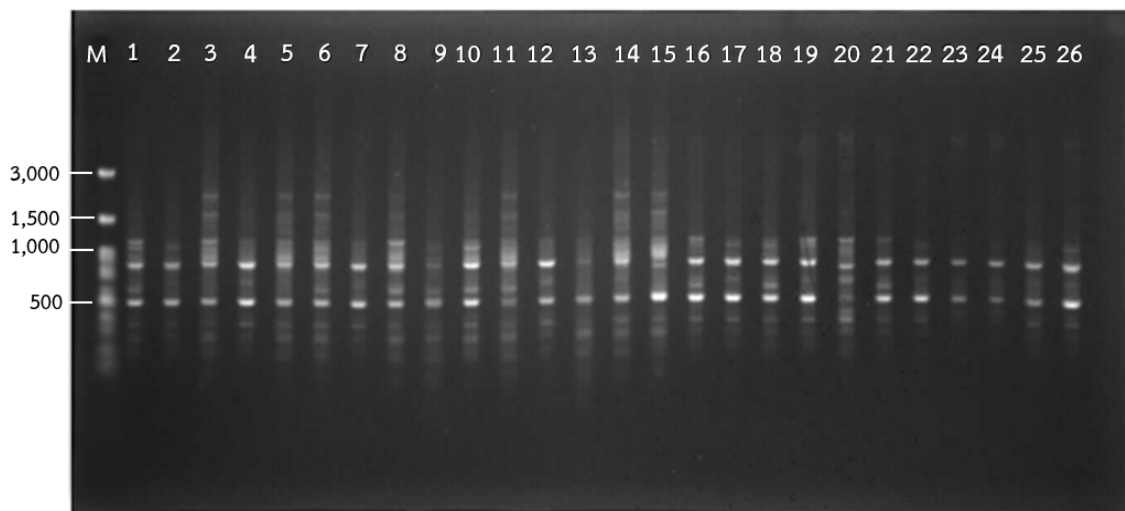
ไพรเมอร์	ลำดับนิวคลีโอไทด์
SCoT1	5' CAA CAA TGG CTA CCA CCA 3'
SCoT2	5' CAA CAA TGG CTA CCA CCC 3'
SCoT3	5' CAA CAA TGG CTA CCA CCG 3'
SCoT4	5' CAA CAA TGG CTA CCA CCT 3'
SCoT11	5' AAG CAA TGG CTA CCA CCA 3'
SCoT12	5' ACG ACA TGG CGA CCA ACG 3'
SCoT13	5' ACG ACA TGG CGA CCA TCG 3'
SCoT14	5' ACG ACA TGG CGA CCA CGC 3'
SCoT18	5' ACC ATG GCT ACC ACC GCC 3'
SCoT21	5' ACG ACA TGG CGA CCC ACA 3'
SCoT22	5' AAC CAT GGC TAC CAC CAC 3'
SCoT23	5' CAC CAT GGC TAC CAC CAG 3'
SCoT30	5' CCA TGG CTA CCA CCG GCG 3'
SCoT35	5' CAT GGC TAC CAC CGG CCC 3'

ที่มา: Collard and Mackill (2009)

ผลการวิจัย

ลายพิมพ์ดีเอ็นเอของข้าวหอม

จากการตรวจสอบลายพิมพ์ดีเอ็นเอในข้าวหอม จำนวน 26 พันธุ์/สายพันธุ์ โดยใช้ไพรเมอร์ SCoT จำนวน 18 ไพรเมอร์ พบว่า มี 14 ไพรเมอร์ ที่สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายได้ และให้แถบดีเอ็นเอเฉลี่ย 12.21 แถบต่อไพรเมอร์ (รูปที่ 1) โดยไพรเมอร์ SCoT12 ให้จำนวนแถบดีเอ็นเอมากที่สุดคือ 18 แถบ ในขณะที่ไพรเมอร์ SCoT2 ให้จำนวนแถบดีเอ็นเอน้อยที่สุดคือ 8 แถบ เมื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของแถบดีเอ็นเอที่แสดงความแตกต่างกัน (Polymorphic band) พบว่ามีค่าเฉลี่ย 90.64 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ไพรเมอร์ SCoT12 ให้เปอร์เซ็นต์การเกิด Polymorphic band สูงที่สุด คิดเป็น 94.44 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2)



รูปที่ 1 การตรวจสอบลายพิมพ์ดีเอ็นเอของข้าวหอม 26 พันธุ์/สายพันธุ์ ด้วยเทคนิค SCoT ด้วยไพรเมอร์ S23 แยกความแตกต่างด้วยเจลอะกาโรสความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ M) 100 bp DNA ladder 1) หอมพญาแม่ทองดำ 2) หอมมะลิ105 3) หอมนิล 4) Blackberry 5) หอมมะลิสีสุรินทร์ 6) หอมนิลจักรพรรดิ 7) หอมคำสุตะบุตร 8) หอมกระดังงา 9) หอมสุโขทัย 10) หอมดอกมะขาม 11) หอมพวง 12) หอมชลสิทธิ์ 13) หอมลูกช้าง 14) หอมพิษณุโลก 15) เกยไชย 16) หอมจำปา 17) โสมาลี 18) หอมนางฟ้า 19) หอมพันทอง 20) ข้าวญี่ปุ่นโคชิคาริ 21) หน่วยเชื้อ 22) ขาวตาแห้ง 23) หอมนาคา 24) หอมพม่า 25) หอมภูพาน 26) หอมราชินี

ตารางที่ 2 ความหลากหลายของการเกิดแถบดีเอ็นเอจากไพรเมอร์จำนวน 14 ไพรเมอร์ ด้วยเทคนิคเครื่องหมายโมเลกุล SCoT ในข้าวหอม 26 พันธุ์/สายพันธุ์

ไพรเมอร์	จำนวนแถบดีเอ็นเอ	Monomorphic bands	Polymorphic bands	เปอร์เซ็นต์การเกิด Monomorphic bands	เปอร์เซ็นต์การเกิด Polymorphic bands
SCoT1	12	7	5	58.33	41.67
SCoT2	8	0	8	0.00	100.00
SCoT3	13	1	12	7.69	92.31
SCoT4	11	3	8	27.27	72.73
SCoT11	9	0	9	0.00	100.00

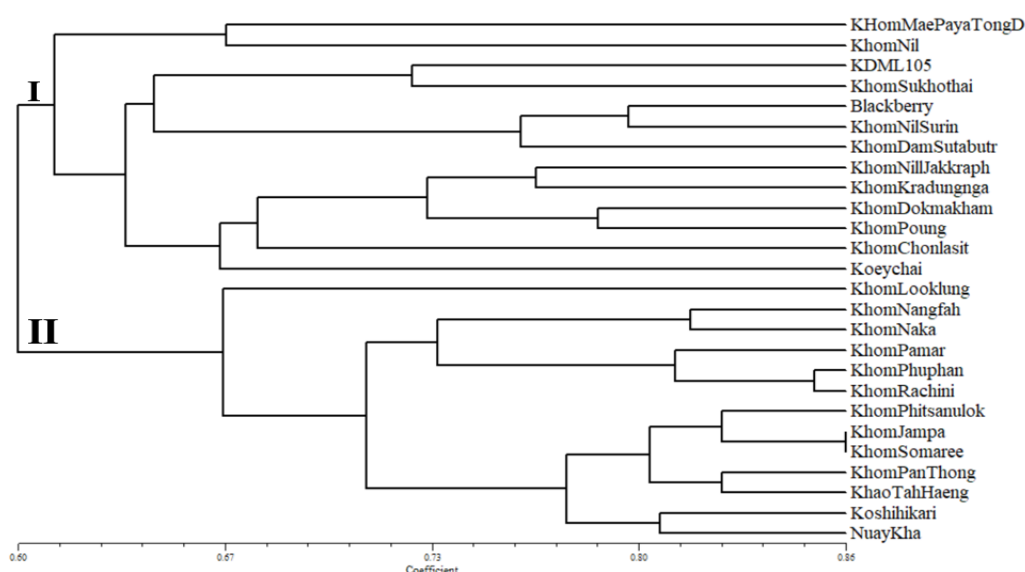
SCoT12	18	1	17	5.56	94.44
SCoT13	14	1	13	7.14	92.86
SCoT14	12	0	12	0.00	100.00
SCoT18	13	0	13	0.00	100.00
SCoT21	12	1	11	8.33	91.67
SCoT22	14	0	14	0.00	100.00
SCoT23	12	2	10	16.67	83.33
SCoT30	13	0	13	0.00	100.00
SCoT35	10	0	10	0.00	100.00
เฉลี่ย	12.21	1.14	11.07	9.36	90.64

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SCoT

จากการศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมทั้งหมด 26 พันธุ์/สายพันธุ์ โดยใช้แถบดีเอ็นเอที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SCoT พบว่าความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมมีค่าอยู่ในช่วง 0.60-0.86 และมีค่า Cophenetic correlation (r) อยู่ที่ 0.76 ถือว่าจัดกลุ่มได้ปานกลาง (รูปที่ 2) จากเดนโดแกรมสามารถจัดกลุ่มความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มีข้าวหอมจำนวน 13 ตัวอย่าง ประกอบด้วย หอมแม่พญาทองดำ หอมนิล ขาวดอกมะลิ 105 หอมสุโขทัย Blackberry หอมมะลิโนลสุรินทร์ หอมสุตะบุตร หอมนิลจักรพรรดิ หอมกระดังงา หอมดอกมะขาม หอมพวง หอมชลสิทธิ์ และ เกยชัย ซึ่งลักษณะร่วมที่เด่นชัดของข้าวกลุ่มนี้คือ มีลักษณะเมล็ดยาว เรียว ขนาดเมล็ดประมาณ 3-11 มิลลิเมตร เนื้อขาวมีลักษณะใส โดยพบว่าเมล็ดข้าวที่มีสีหรือมีลักษณะของเมล็ดสีน้ำตาลจนถึงม่วง-ดำ จะจัดอยู่ในกลุ่มนี้ทั้งหมด (หอมพญาแม่ทองดำ หอมนิล หอมสุโขทัย Blackberry หอมมะลิโนลสุรินทร์ หอมสุตะบุตร หอมนิลจักรพรรดิ)

กลุ่มที่ 2 มีข้าวหอมจำนวน 13 ตัวอย่าง ประกอบด้วย หอมลูกวัง หอมนางฟ้า หอมนาคา หอมพม่า หอมพูพาน หอมราชินี หอมพิษณุโลก หอมจำปา หอมโสมาสี หอมพันช้าง ขาวตาแห้ง ข้าวญี่ปุ่นโคชิฮิการิ และหน่วยเชื้อ ซึ่งลักษณะร่วมที่เด่นชัดของข้าวกลุ่มนี้คือ สีขาวของเมล็ดข้าวซึ่งมีทั้งขาวใส และขาวขุ่น เมล็ดข้าวมีทั้งยาวเรียวและ สั้น อ้วน ป้อม



รูปที่ 2 เดนโดแกรมแสดงความใกล้ชิดและความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมจำนวน 26 พันธุ์/สายพันธุ์ เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม NTSYSpC 2.2

ข้อมูลลักษณะภายนอกที่ปรากฏ (Phenotype) ของข้าว 26 พันธุ์/สายพันธุ์

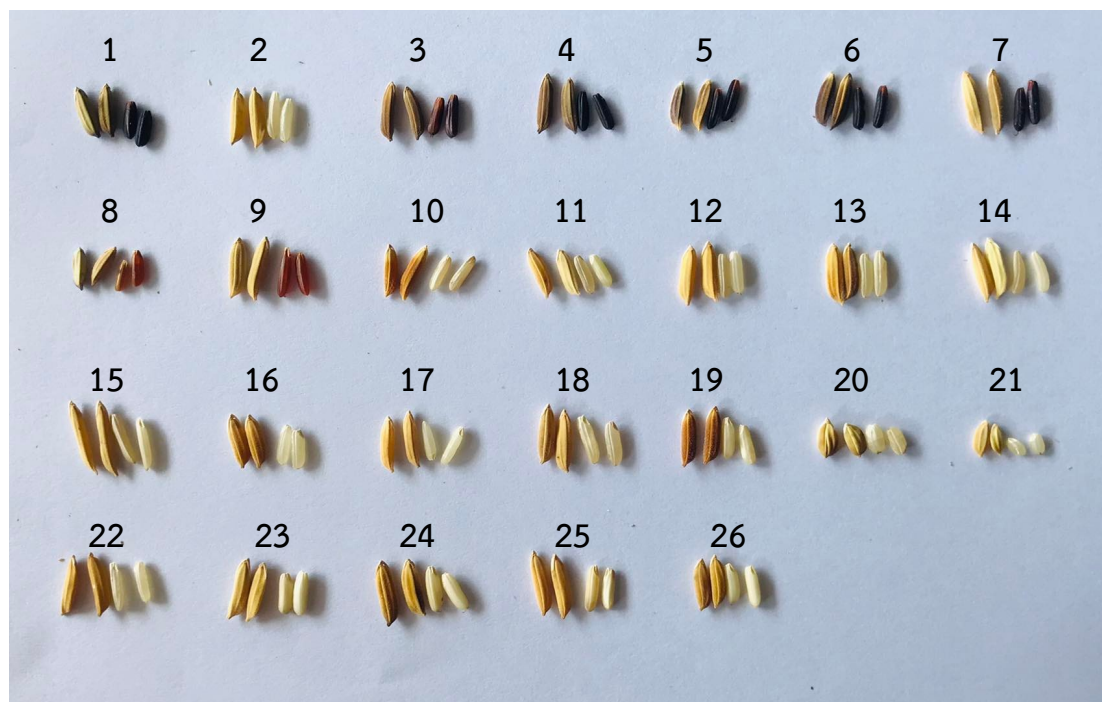
เมื่อทำการวัดขนาดและสีของเมล็ดข้าวเปลือกด้วยเวอร์เนียร์จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 เมล็ด พบว่า เมล็ดข้าวหอม มีความกว้าง 2-4 มิลลิเมตร และยาว 7-11 มิลลิเมตร โดยกลุ่มข้าวหอมที่มีเมล็ดยาวเรียว เช่น ข้าวดอกมะลิ 105 หอมนิล จักรพรรดิ หอมคำสุตะบุตร หอมนาคา หอมพม่า เป็นต้น ส่วนข้าวหอมที่มีลักษณะเมล็ดอ้วนป้อม เช่น ข้าวหน่วยเชื้อ และ ข้าวญี่ปุ่น เมื่อพิจารณาสีของเมล็ด พบว่า เมล็ดข้าวหอมมีสีขาว ม่วง-ดำ และแดง ซึ่งสีของเมล็ดข้าวเหล่านี้เป็นการบ่งบอก คุณสมบัติทางโภชนาการที่สำคัญของข้าว เช่น สีม่วงของเมล็ดข้าวที่เกิดจากการมีสารแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 3 และรูปที่ 3)

ตารางที่ 3 ขนาด รูปร่าง และสีลักษณะและองค์ประกอบเมล็ดข้าวเปลือกจำนวน 26 พันธุ์/สายพันธุ์ ที่แสดงความใกล้เคียงกันทางพันธุกรรม

พันธุ์/สายพันธุ์ข้าว	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	รูปร่างเมล็ด*	สีของเมล็ด	กลุ่มความใกล้เคียง ทางพันธุกรรม
แม่พญาทองดำ	3	9	เมล็ดยาวมาก	ม่วง-ดำ	I
หอมมะลิ105	3	11	เมล็ดยาวมาก	ขาว	I
หอมนิล	3	9	เมล็ดยาวมาก	ม่วง-ดำ	I
Blackberry	3	10	เมล็ดยาวมาก	ม่วง-ดำ	I
หอมมะลินิลสุรินทร์	3	9	เมล็ดยาวมาก	ม่วง	I
หอมนิลจักรพรรดิ	3	11	เมล็ดยาวมาก	ม่วง	I
หอมคำสุตะบุตร	3	11	เมล็ดยาวมาก	ม่วง	I
หอมกระดังงา	3	7	เมล็ดยาว	แดง	I
หอมสุโขทัย	3	10	เมล็ดยาวมาก	แดง	I
หอมดอกมะขาม	2	10	เมล็ดยาวมาก	ขาว	I
หอมพวง	3	9	เมล็ดยาวมาก	ขาว	I
หอมชลสิทธิ์	3	10	เมล็ดยาวมาก	ขาว	I
หอมลูกวัง	3	10	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
หอมพิษณุโลก	3	10	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
เกษไชย	2	13	เมล็ดยาวมาก	ขาว	I
หอมจำปา	2	8	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
โสมาลี	3	10	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
หอมนางฟ้า	3	10	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
หอมพันทอง	3	9	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
ข้าวญี่ปุ่น	4	7	เมล็ดยาว	ขาว	II
ข้าวหน่วยเชื้อ	3	5	เมล็ดสั้น	ขาว	II
ขาวตาแห้ง	3	10	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
หอมนาคา	3	11	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
หอมพม่า	3	11	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II
หอมภูพาน	4	10	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II

พันธุ์/สายพันธุ์ข้าว	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	รูปร่างเมล็ด*	สีของเมล็ด	กลุ่มความใกล้เคียง ทางพันธุกรรม
หอมราชินี	3	9	เมล็ดยาวมาก	ขาว	II

หมายเหตุ: ข้าวเมล็ดสั้น ความยาวไม่เกิน 5.5 มิลลิเมตร, ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง ความยาว 5.51-6.00 มิลลิเมตร, ข้าวเมล็ดยาว ความยาว 6.61-7.50 มิลลิเมตร และข้าวเมล็ดยาวมาก ความยาว 7.5 มิลลิเมตร ขึ้นไป



รูปที่ 3 ความหลากหลายของลักษณะทางรูปร่างและสีของเมล็ดข้าวจำนวน 26 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ 1.หอมพญาแม่ทองคำ 2.ขาวดอกมะลิ105 3.หอมนิล 4.Blackberry 5.หอมมะลิสีสุรินทร์ 6.หอมนิลจักรพรรดิ 7.หอมคำสุตะบุตร 8.หอมกระดังงา 9.หอมสุโขทัย 10.หอมดอกมะขาม 11.หอมพวง 12.หอมชลสิทธิ์ 13.หอมลูกวัง 14.หอมพิชญ์โลก 15.เกษไชย 16.หอมจำปา 17.โสมาลี 18. หอมนางฟ้า 19.หอมพันทอง 20.ข้าวญี่ปุ่นโคชิฮิคาริ 21.หน่วยเชื้อ 22.ขาวตาแห้ง 23.หอมนาคา 24.หอมพม่า 25. หอมภูพาน 26.หอมราชินี

การอภิปรายผล

การศึกษาแผนที่พันธุกรรมที่แสดงความหลากหลายทางพันธุกรรมหรือความใกล้เคียงทางพันธุกรรมเป็นสมมติที่สร้างขึ้นเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในลักษณะแผนภูมิรูปต้นไม้ (Tree diagram) การสร้างความสัมพันธ์สารพันธุกรรมนั้นสามารถแสดงได้หลายรูปแบบทั้ง Phenetic tree และ Cladogram ซึ่งโดยส่วนใหญ่นิยมสร้างความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตโดยการสร้าง Phenetic tree โดยที่การวิเคราะห์ Phenetic tree และเลือกใช้ค่า Genetic distance หรือ Similarity เพื่อบ่งบอกค่าความแตกต่างทางพันธุกรรมการจัดกลุ่มข้อมูล (Phylogenetic analysis) โดยวิธี Distance matrix เป็นวิธีการคำนวณหาค่า Similarity หรือ Distance โดยพบว่า Dice matrix คือจะเป็นการวัดค่า Similarity โดยอิงกับข้อมูลทาง Gene expression ซึ่งสอดคล้องกับเทคนิคเครื่องหมายโมเลกุล SCoT ที่เลือกใช้ เนื่องจากเทคนิค SCoT เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพต่อการระบุความแตกต่างทางพันธุกรรมของพืชได้ (สุริพร, 2557)

จากการศึกษาหาความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวหอมทั้งหมด 26 พันธุ์/สายพันธุ์ ด้วยเทคนิคเครื่องหมายโมเลกุล SCoT พบว่าสามารถจำแนกพันธุ์ข้าวหอมได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ โดย กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 13 พันธุ์/สายพันธุ์ ประกอบด้วย หอมพญาแม่ทองดำ หอมนิล หอมดอกมะลิ 105 หอมสุโขทัย Blackberry หอมมะลิสีฟ้า หอมสุตะบุตร หอมนิลจักรพรรดิ หอมกระดังงา หอมดอกมะขาม หอมพวง หอมชลสิทธิ์ และเกษชัย Patidar et al. (2022) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวสายพันธุ์ใหม่จำนวน 43 สายพันธุ์ ที่เกิดจากการปรับปรุงพันธุ์ด้วยระบบ Cytoplasmic Male Sterility (CMS) โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล SCoT พบค่าความคล้ายคลึงทางพันธุกรรมอยู่ในช่วง 0.52-1.00 สามารถแยกสายพันธุ์ข้าวออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้ นอกจากนี้พบว่าข้าวหอมในกลุ่มที่ 1 นี้ส่วนใหญ่เป็นข้าวที่มีสีม่วง ม่วง-ดำ และแดง จากการศึกษาของ ช่อทิพย์ และคณะ (2558) พบว่า ในข้าวมียีน *Rc* เป็นยีนควบคุมที่สำคัญซึ่งเป็นรหัสของโปรตีน ทรานสคริปชันแฟกเตอร์ควบคุมการแสดงออกของยีน โครงสร้างในวิถีการสังเคราะห์ โปรแอนโทไซยานิน ทำให้เกิดสีน้ำตาลหรือแดงของเมล็ดข้าว ยีนควบคุมจึงมีความสำคัญมากในการทำให้เกิดสีในข้าว และเครื่องหมายโมเลกุล SCoT เป็นเครื่องหมายชนิด Universal และที่พัฒนามาบนพื้นฐานของ Short conserved region บริเวณ ATG ของพืช (Collard and Mackill, 2009) จึงมีโอกาสเป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ของยีนที่ควบคุมลักษณะสีของเมล็ดได้

กลุ่มที่ 2 มีจำนวน 13 พันธุ์/สายพันธุ์ ประกอบด้วย หอมลูกวัง หอมนางฟ้า หอมนาคา หอมพม่า หอมพูนาน หอมราชินี หอมพิษณุโลก หอมจำปา หอมโสมาลี หอมพันช้าง ขามตาแห้ง ข้าวญี่ปุ่นโคชิชิคาริ และหน่วยเชื้อ มีลักษณะร่วมที่เด่นชัด คือ เมล็ดมีสีขาว และมีรูปร่างเมล็ดยาวมาก ยาว และสั้น จากภาพเดนโดแกรมพบว่ามีโอกาสที่ข้าวหอมจำปา และข้าวหอมโสมาลี จะเป็นพันธุ์เดียวกัน เนื่องจากมีค่าดัชนีความเหมือนเท่ากับ 0.86 ดังนั้นการเพิ่มจำนวนไพรเมอร์ศึกษาจะสามารถช่วยให้การศึกษาชัดเจนขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวหน่วยเชื้อมีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมสูงกับข้าวญี่ปุ่นโคชิชิคาริ ซึ่งเมื่อพิจารณา ลักษณะภายนอกของเมล็ดข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ มีเมล็ดสีขาว และรูปร่างเมล็ดสั้น (ความยาวประมาณ 5-7 มิลลิเมตร) โดยปัจจุบันพบว่าข้าวญี่ปุ่นโคชิชิคาริ ได้รับความนิยมในผู้บริโภค เนื่องจากเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะวิตามินอีจากธรรมชาติและแกมมาโอไรซานอล (*γ*-oryzanol) ในปริมาณสูง ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบของผิวหนัง และทำให้ผิวขาวขึ้น (Ting-Jang et al., 2011; Tsuzuki et al., 2019) เช่นเดียวกับข้าวหน่วยเชื้อ ข้าวเจ้าพันธุ์ข้าวพื้นบ้านของประเทศไทย เป็นข้าวที่มีปริมาณวิตามินอี สูงกว่าข้าวทั่วไปถึง 26.2 เท่า (ชุดิมา, 2563) วิตามินอีจะทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกัน เสริมระบบภูมิคุ้มกัน บำรุงผิวให้สดใสและทำให้แผลเป็นหายเร็วขึ้น จะเห็นว่าข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ มีลักษณะและคุณค่าทางโภชนาการคล้ายกัน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะนำข้าวเหล่านี้มาใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโภชนาการสูงในอนาคต

ปัจจุบัน เครื่องหมายดีเอ็นเอ (DNA marker) หรือเครื่องหมายโมเลกุล (Molecular marker) ได้เข้ามามีบทบาทในงานด้านพันธุศาสตร์และการปรับปรุงพันธุ์พืชอย่างมาก เนื่องจากการจัดกลุ่มหรือการจำแนกสิ่งมีชีวิตโดยอาศัยลักษณะสัณฐานวิทยาทำได้ยาก โดยเฉพาะพืชซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการแยกความแตกต่างของสายพันธุ์ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์พืชบางชนิดที่มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรม การใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยในการบ่งชี้ความแตกต่างของสายพันธุ์พืชหรือการจำแนกความแตกต่างของสายพันธุ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาวิจัยการประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมข้าวหอมโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล SCoT ในครั้งนี้ ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาวิจัยด้านความหลากหลายทางพันธุกรรมโดยใช้เครื่องหมายโมกุลให้กว้างขวางยิ่งขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการปรับปรุงพันธุ์และอนุรักษ์พันธุกรรมข้าวได้ในอนาคต

บทสรุป

จากการประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าวและข้าวหอมจำนวน 26 พันธุ์/สายพันธุ์ พบว่าความใกล้ชิดทางพันธุกรรมของข้าวหอมมีค่าอยู่ในช่วง 0.60-0.86 มีค่า Cophenetic correlation (r) อยู่ที่ 0.76 ถือว่า จัดกลุ่มได้ปานกลาง โดยสามารถจำแนกกลุ่มความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมได้ 2 กลุ่มใหญ่ ซึ่งเครื่องหมายโมเลกุล SCoT จัดเป็นเครื่องหมายโมเลกุลที่มีประสิทธิภาพ สามารถจำแนกข้าวที่มีลักษณะทางพันธุกรรมใกล้เคียงกันไว้ในกลุ่มเดียวกันได้ เช่น กลุ่มข้าวที่มีสี และสอดคล้องไปกับลักษณะภายนอกที่ปรากฏ ดังนั้นผลการทดลองดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ดีเพื่อใช้ในการคัดเลือกเชื้อพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์อนุรักษ์พันธุ์ข้าว จังหวัดพิษณุโลก และหมู่บ้านของ จังหวัดจันทบุรี ในการอนุเคราะห์พันธุ์/สายพันธุ์ข้าว เพื่อการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาสังคมและสวัสดิการ. (2560). แนวทางการพัฒนาการค้าข้าวหอมมะลิไทยในตลาดโลก. ค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2565. shorturl.at/bcx38
- ช่อทิพย์ สกูลสิงหาโรจน์, วราภรณ์ แสงทอง, แสงทอง พงษ์เจริญกิต และศรีเมฆ ขาวโพธิ์พวง. (2558). การโคลนและศึกษาคุณสมบัติของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โพรแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวเพื่อใช้เป็นยีนเครื่องหมายในการปรับปรุงพันธุ์ข้าว. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- ชุดิมา เมฆวัน. (2563). แนวทางการสร้างมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์ข้าวพื้นบ้านที่สอดคล้องกับบริบทและวิถีบริโภคในปัจจุบันในพื้นที่อำเภอราศีไศล จังหวัดศรีสะเกษ. วารสารศิลปกรรมศาสตร์ 12(1): 152-179.
- นันทกา แสงจันทร์, ทิพย์วรรณ นันใจยะ และอัษฎาฐ แสงจันทร์. (2561). ระบบฐานข้อมูลเพื่อการวางแผนพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์รายสินค้าของจังหวัดสระบุรี “ข้าว”. กลุ่มสารสนเทศการเกษตร สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสระบุรี.
- สิรินทร์ กุลเสวกกุล, ศันสนีย์ จำจด และตอนภา ผุสดี. (2562). ความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงจากกลุ่มชาติพันธุ์ในภาคเหนือของประเทศไทย. วารสารแก่นเกษตร. 47(5): 901-916.
- สุริพร เกตุงาม. (2557). การปรับปรุงพันธุ์พืชระดับโมเลกุล. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- Aesomnuk W., Ruengphayak S., Ruanjaichon V., Sreewongchai T., Malumpong C., Vanavichit A., Toojinda T., Wanchana S. and Arikat, S. (2021). Estimation of the genetic diversity and population structure of Thailand's rice landraces using SNP markers. Agronomy. 11(5): 1-14.
- Bryant R.J. and McClung A.M. (2011). Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC-MS. Food Chemistry. 124: 501-513.

- Buttery R.G., Ling L.C., Juliano B.O. and Turnbough J.G. (1983). Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 31: 823-826.
- Collard B.C.Y. and Mackill D.J. (2009). Start codon targeted (SCoT) polymorphism: a simple novel DNA marker technique for generating gene-targeted markers in plants. *Plant Molecular Biology Reporter*. 27: 86-93.
- Patidar A., Sharma R., Kotu G.K., Kumar A., Ramakrishnan R.S. and Sharma S. (2022). SCoT markers assisted evaluation of genetic diversity in new plant type (*npt*) lines of rice. *Bangladesh Journal of Botany*. 51(2): 335-341.
- Ravi M., Geethanjali S., Sameeyafarheen F. and Maheswaran M. (2003). Molecular marker-based genetic diversity analysis in rice (*Oryza sativa* L.) using RAPD and SSR markers. *Euphytica*. 133: 243-252.
- Sajib A.M., Hossain Md.M., Mosnazz A.T.M.J., Hossain H., Islam Md.M., Ali Md.S. and Prodhan S.H. (2012). SSR marker-based molecular characterization and genetic diversity analysis of aromatic landraces of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of BioScience and Biotechnology*. 1(2): 107-116.
- Ting-Jang L., Hsiao-Ni C. and Huei-Ju W. (2011). Chemical constituents, dietary fiber, and γ -Oryzanol in six commercial varieties of brown rice from Taiwan. *Cereal Chemistry*. 88(5): 463-466.
- Tsuzuki W., Komba S. and Kotake-Nara E. (2019). Diversity in γ -oryzanol profiles of Japanese black-purple rice varieties. *Journal of Food Science and Technology*. 56: 2778-2786.

Received: January 23, 2023; Revised: March 30, 2023; Accepted: April 26, 2023

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซีซีซีซีไม้จิกกับฟิล์มพลาสติกหลายชั้นสำหรับเป็นวัสดุของ
ของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

Feasibility study on using hard resin of 'Ton Jik' Taengwood balau tree
(*Shorea Obtusa* Wall) with multilayer plastic film as materials of ethanol
vapor-controlled release sachets in active packages

หทัยพร กัมพวงศ์¹ ฤทธิรงค์ พงษ์ตัญญู² และวีรเวทย์ อุทโธ^{1,3,4*}

Hathaiphon Kampawong¹, Rittirong Pruthitikul² and Weerawate Utto^{1,3,4*}

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

¹Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province.

²ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จังหวัดปทุมธานี

²National Metal and Materials Technology Center-MTEC) SMEONE, National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani Province.

³ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวง
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) จังหวัดกรุงเทพมหานคร

³Postharvest Technology Innovation Center, Promotion and Coordination Division for the Benefits of Science research and innovation, Office of the Permanent Secretary Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok Province

⁴ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารพื้นบ้าน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

⁴Local Food Industry Research and Development Center, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province.

*Corresponding Author E-mail Address : weerewate.u@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ซีซีซีซีไม้จิก (วัสดุ KC) กับฟิล์มพลาสติกหลายชั้นสำหรับเป็นวัสดุของของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ การวิจัยนี้พัฒนาฟิล์มพลาสติกหลายชั้นต้นแบบโดยการทาสารละลายซีซีซีซีไม้จิกลงบนผิวหน้าของฟิล์ม Ethylene vinyl acetate (EVA) จากนั้นเชื่อมประกบฟิล์มพลาสติก Low density polyethylene (LDPE) ทั้งสองด้านโดยเทคนิคการปิดผนึกด้วยความร้อน ต้นแบบฟิล์มแอคทีฟ KC (LDPE/KC/EVA/LDPE) ได้นำไปพัฒนาเป็นซองควบคุมฯ (KC sachet) ซึ่งมีผนังเป็นฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนตและฟิล์มแอคทีฟ KC โดยมีกระดาษกรองที่เอบซุ่มด้วยเอทานอลเหลวอยู่ภายในซองควบคุมฯ การวิจัยได้ศึกษาการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ (KC sachet) ในบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมลามิเนตปริมาตร 250 ml ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอล

ในบรรจุภัณฑ์ได้รับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame-ionized detector gas chromatogram (FID-GC) ในระหว่างการเก็บรักษา 17 วัน ที่อุณหภูมิ 25°C และเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลซึ่งปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ทำจากฟิล์ม LDPE (LDPE sachet) และฟิล์มหลายชั้นที่ไม่มีวัสดุ KC (2LDEVA sachet) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในทุกสิ่งทดลองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องในช่วง 7 วันแรก จากนั้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเกิดขึ้นช้าลงและมีแนวโน้มคงที่ ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลสูงสุดพบในสิ่งทดลอง KC sachet ในขณะที่ค่าต่ำสุดพบในสิ่งทดลอง 2LDEVA sachet แบบจำลองคณิตศาสตร์ประเภท First-order kinetic reaction สามารถทำนายการระดับและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลได้ดี (R^2 เท่ากับ 0.99) อัตราเร็วที่สูงของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฯ ในสิ่งทดลอง KC sachet ได้ตั้งสมมติฐานว่าอาจเกิดจากปรากฏการณ์พลาสติกไซเซชันในโครงสร้างของฟิล์มพลาสติกโดยมีสาเหตุจากทั้งโมเลกุลเอทานอลและสารประกอบอินทรีย์ของซีซีซีซึ่งทำให้เกิดการซึมผ่านภายในชั้นฟิล์มอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ไอระเหยของซีซีซีไม้จิกได้ถูกปลดปล่อยออกมารวมกับไอระเหยเอทานอลโดยประเภทของไอระเหยดังกล่าวอยู่ในระหว่างการพิสูจน์ทราบเพื่อการพัฒนาของควบคุมฯ KC ต่อไป

คำสำคัญ: ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล ซีซีซีไม้จิก บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ฟิล์มพลาสติกหลายชั้น

Abstract

The purpose of this research was to study feasibilities in using hard resin of Taengwood balau tree (KC material) with multilayer plastic films as materials of ethanol vapor-controlled release sachet in active packaging. The resin and the tree are locally called KeeCee (or KC) and Ton Jik, respectively. This research developed a prototype of a multi-layer plastic film by applying a KC material solution on the surface of the ethylene vinyl acetate (EVA) film of which low density polyethylene (LDPE) plastic films subsequently were laminated on both sides using the heat-sealing technique. The active KC film prototype (LDPE/KC/EVA/LDPE) was developed further as an ethanol vapor-controlled release sachet, so-called KC sachet. The sachet comprises with an aluminium laminated film on one side and the KC film on the other and contains a filter paper pre-saturated with ethanol liquid. The present research studied ethanol vapor released from the KC sachet within the 250-ml aluminium laminated packages. Ethanol vapor concentrations were analyzed using the flame-ionized detector gas chromatogram (FID-GC) during 17 days at 25°C and were compared to those released from sachets of which the material on one side was made of either LDPE (LDPE sachet) or multilayer film having no KC layer (2LDEVA sachet). Experimental results show that ethanol vapor concentrations of all treatments rapidly and continuously increased during 7 days of the storage period. Changes of the concentrations thereafter became slower and apparently, had steady trends. The highest ethanol vapor concentration was found in the KC sachet treatment, whilst the lowest one was observed in the 2LDEVA sachet one. The first-order kinetic mathematical model could well predict concentration levels and their changes in all treatments ($R^2 = 0.99$). The highest rate of the concentration changes in the KC sachet treatment hypothetically was attributed to the plasticization phenomena occurred within the film structures caused by molecules of both ethanol and KC-based organic compounds, continuously permeating into the film layers. In addition, the volatiles which presumably were of the KC were released from the KC sachet,

together with the ethanol vapor. These currently have been identified for types and their anti-microbial activities for further development of the KC sachets.

Keywords: Ethanol vapor-controlled release sachets, Hard resin of Taengwood balau tree (KC), Active packaging, Multilayer plastic film

บทนำ

การบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร (Active packaging for food products) ซึ่งวัสดุบรรจุภัณฑ์ เช่น กระดาษ พลาสติก หรือสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ (Edible coating material) มีส่วนประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยา (Interactions) กับบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และ/หรือ ผลิตภัณฑ์อาหาร นำไปสู่การควบคุมคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา (วีรเวทย์, 2562) ตัวอย่างของส่วนประกอบ เช่น น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) ซึ่งสกัดจากพืช อบเชย (Thongsrikhem et al., 2022) ตะไคร้ (Han Lyn and Nur Hanani, 2020) และกานพลู (Ahmed et al., 2019) ได้รับความสนใจพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การบรรจุภัณฑ์แอคทีฟฯ เป็นการยกระดับประสิทธิภาพด้านสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional property) ของวัสดุบรรจุภัณฑ์ซึ่งให้ประโยชน์ต่อการใช้งานเพิ่มเติมจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อันเป็นผลจากการทำปฏิกิริยาระหว่างส่วนประกอบของวัสดุฯ กับเชื้อจุลินทรีย์ (Sharma et al., 2021) ทั้งนี้วัสดุบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีชื่อเรียกโดยรวมว่าวัสดุบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active packaging material หรือ วัสดุ APM) ในการวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจในวัสดุ APM ที่มีส่วนประกอบของซีซีซึ่งเป็นชันไม้ (Hard resin) ของต้นจิก (*Shorea obtusa* Wall) โดยต้นจิกมีชื่อเรียกในภาษากลางว่า ต้นเต็ง (Taengwood balu) เป็นพืชในวงศ์ยางนา (Dipterocarpaceae) ซีซีชันไม้เกิดจากการเจาะต้นไม้ของด้วงหรือรอยแตกของเนื้อไม้ทำให้เกิดการไหลของน้ำยาง (Oleoresin) ออกจากต้นมา และเกิดการแข็งตัวคล้ายกับหินงอกหินย้อยในถ้ำมีสีน้ำตาลอ่อนหรือคล้ำตามสภาวะแวดล้อม ซีซีชันไม้มีส่วนผสมสำคัญเป็นสารประกอบอินทรีย์กลุ่มเทอร์เพน (Terpenes) (Ramle, 2010) สารกลุ่มนี้พบในพืชสมุนไพรและมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Mahizan et al., 2019; Masyita et al., 2022) ซีซีชันไม้ได้รับการนำมาใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์แผนไทยโดยเป็นส่วนประกอบร่วมกับสมุนไพรไทยอื่น ๆ ของยาสมุนไพรเหลืองปิดสมุทรซึ่งออกฤทธิ์ชะลอการถ่ายท้องเสียจากโรคบิดหรือโรคทางเดินอาหาร (Sireeratawong et al., 2012; Phromnoi et al., 2019)

ซีซีชันไม้จิกมีความสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี เช่น แอลกอฮอล์ หรือน้ำมัน ตลอดจนมีความเหนียวและยึดติดกับผิวหน้าวัสดุได้ดีและกันน้ำ จึงทำให้มีการประยุกต์ใช้ซีซีชันไม้จิกเพื่อเป็นวัสดุเคลือบผิวหน้าภาชนะไม้สำหรับกันการรั่วในการบรรจุน้ำ หรือใช้งานในรูปของวัสดุการเชื่อมประสาน (Sealant) สำหรับเชื่อมหรือปิดรอยแตก (Morkhade et al., 2017) จากสมบัติการคงตัวและยึดติดกับผิวหน้าได้ดีของซีซีชันไม้จิกดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำซีซีมาเป็นส่วนประกอบของฟิล์มพลาสติกเพื่อพัฒนาเป็นวัสดุ APM และใช้ในรูปแบบของซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล (Ethanol vapor controlled release sachet) ซึ่งเป็นระบบแอคทีฟ (Active system) ที่ใช้บรรจุร่วมกับผักและผลไม้หรือผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟเพื่อชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แนวคิดดังกล่าวมีพื้นฐานข้อมูลจากรายงานในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง พบว่า ไอระเหยเอทานอลสามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยเฉพาะภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ 7-12°C แต่ประสิทธิภาพดังกล่าวอาจยังไม่เพียงพอเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูง เช่น 25-30°C (วีรเวทย์ และคณะ, 2555) ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่มักพบได้โดยทั่วไปในโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์สด (วีรเวทย์, 2562) ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาว่า หากมีการเพิ่มไอระเหยอื่น ๆ ที่มีฤทธิ์ต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์นอกเหนือจากไอระเหยเอทานอล จักเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ เนื่องจากการควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยไอระเหยที่

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัสดุ APM ประเภทฟิล์มพลาสติกหลายชั้น (Multilayer film) ซึ่งมีส่วนประกอบของพีซีซีไนไมจีคและศึกษาผลของวัสดุ APM ต่อการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล สำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญก่อนการทดสอบและประยุกต์ใช้ของควมคมฯ สำหรับการบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์อาหาร

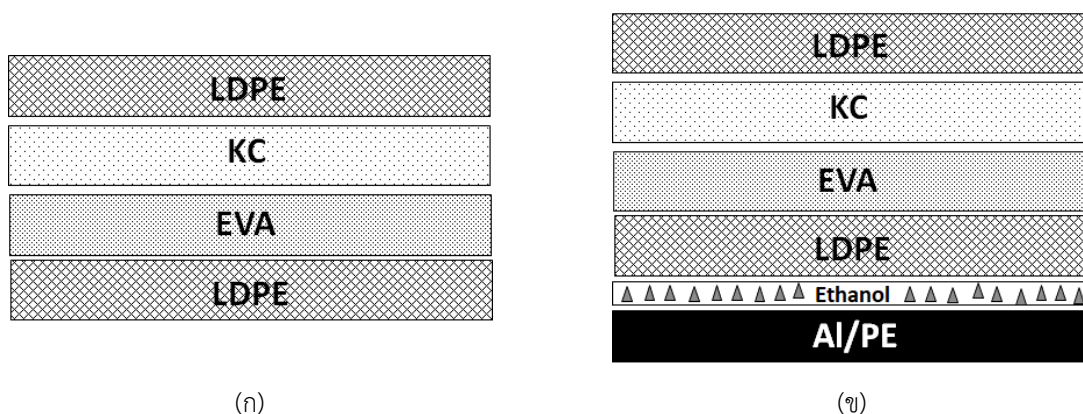
วัตถุประสงค์สำคัญของการวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย (1) ขี้ชีชั้นไม้จิกบดผง (ชันยาเรือ ตราหัวเรือ บริษัท แอล เค อาร์ทูสสาหกรรม จำกัด) และ (2) พิล์มพลาสติก สำหรับการขึ้นรูปเป็นวัสดุ APM รูปแบบฟิล์มหลายชั้น จำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้ (2.1) พิล์มพลาสติกเอทิลีนไวนิล อะซิเตท (Ethylene vinyl acetate; EVA) ยี่ห้อ Heat n bond ultrahold iron-on adhesive ความหนาเท่ากับ 203 μm มีสมบัติด้าน O_2 transmission rate (OTR) CO_2 transmission rate (CTR) และ Water vapour transmission rate (WVTR) เท่ากับ 821 $\text{ml m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, 2,612 $\text{ml m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ และ 15 $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ตามลำดับ พิล์มพลาสติก EVA ทำหน้าที่เป็นตัวพาขี้ชีชั้นไม้และวัสดุเชื่อมประสานในโครงสร้างของวัสดุ APM (2.2) พิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) ความหนาเท่ากับ 30 μm โดยมีสมบัติ OTR CTR และ WVTR เท่ากับ 2,500 $\text{ml m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, 13,500 $\text{ml m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ และ 8 $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ตามลำดับ และ (2.3) พิล์มพลาสติกอะลูมิเนียมลามิเนต (AL/PE) ซึ่งมีสมบัติการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำข้างต้นต่ำมาก (วีรเวทย์, 2562) ดังนั้นจึงตั้งสมมติฐานว่าทั้งแก๊สและไอน้ำไม่เกิดการซึมผ่านชั้นฟิล์มพลาสติก AL/PE ในระหว่างช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

2. การเตรียมสารละลายชั้นไม้จิก

ผู้วิจัยได้ประยุกต์วิธีการเตรียมสารละลายเซลแล็ค (Shellac) ซึ่งรายงานโดย Khorram and Ramezani (2021) และมีรายละเอียดดังนี้ นำชั้นไม้จิกบดผงน้ำหนัก 100 g ผสมกับสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% (v/v) ปริมาตร 200 ml (อัตราส่วนชั้นไม้จิกผงต่อเอทานอล 1:2 w/v) คนผสมให้เข้ากันจากนั้นนำไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65-70°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยทำการคนกวนสารละลายทุก ๆ 30 นาที ทั้งนี้ในการคนกวนแต่ละครั้งได้ทำการคนกวนต่อเนื่องเป็นเวลานาน 5 นาที ภายหลังจากเมื่อครบเวลาการคนกวนแล้ว นำสารละลายมาทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 (Whatman No. 4) สารละลายที่ผ่านกระดาษกรองมีสีน้ำตาลเข้มและมีกลิ่นของชั้นไม้จิกอ่อน ๆ จากนั้นทำการเติมกลีเซอรอล (Glycerol 99.5% (v/v), Kamaus, Australia) ด้วยความเข้มข้น 2.5% (w/v) โดยเปรียบเทียบกับปริมาตรสารละลายที่กรองได้ ทั้งนี้สารกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ให้ความยืดหยุ่นแก่โครงสร้างพอลิเมอร์ของสารละลายซีซีชั้นไม้จิกภายหลังจากนั้นได้ทำการเก็บสารละลายในขวดสีชาพร้อมทั้งปิดฝาให้สนิท และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกว่านำไปใช้ในการทดสอบ

3. การพัฒนาวัสดุ APM และช่องควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล

วัสดุ APM สำหรับการวิจัยนี้เป็นฟิล์มพลาสติกแบบหลายชั้นโดยมีส่วนประกอบของซีซีชั้นไม้จิกเป็นองค์ประกอบ การพัฒนาฟิล์มพลาสติกได้ประยุกต์วิธีการที่รายงานโดย Kampawong et al. (2021) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ เตรียมฟิล์มพลาสติก EVA และ LDPE ขนาดเท่ากับ 7×7 cm นำสารละลายซีซีชั้นไม้ที่เตรียมในหัวข้อ 2.2 ระเหยตัวทำละลายเอทานอลในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 65-70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที ซึ่งสารละลายซีซีชั้นไม้มีลักษณะเหนียวแต่สามารถแผ่ตัวได้ (Spread ability) โดยทำการชั่งสารละลายซีซี 0.4 g และนำมาทาที่ผิวด้านหนึ่งของฟิล์มพลาสติก EVA (มีสัญลักษณ์ คือ KC/EVA) ภายหลังจากกระบวนการดังกล่าว ได้ทำการประกบฟิล์มพลาสติก KC/EVA ทั้งสองด้านด้วยฟิล์มพลาสติก LDPE จากนั้นนำแผ่นโลหะให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 100°C วางทับบนกระดาษไขซึ่งวางบนผิวด้านของฟิล์มพลาสติก LDPE เป็นเวลา 3 นาที ความร้อนจากแผ่นโลหะได้ทำให้ฟิล์มพลาสติกเกิดการอ่อนตัว โดยเฉพาะฟิล์มพลาสติก EVA ได้เกิดการหลอมตัวมีลักษณะคล้ายกาวทำให้เกิดการเชื่อมประสานกับฟิล์มพลาสติก LDPE ทั้งสองแผ่นที่ผิวด้าน เมื่อนำความร้อนออกจากแผ่นฟิล์ม ส่งผลให้ฟิล์มแต่ละชั้นเกิดการเย็นตัวและเกิดการยึดเหนี่ยวเชื่อมประสานแน่นระหว่างชั้น ความหนาโดยรวมของฟิล์มเท่ากับ 232 μm ฟิล์มหลายชั้นดังกล่าวนี้มีสัญลักษณ์ขององค์ประกอบของฟิล์มแต่ละชั้น (จากด้านนอกสู่ด้านในของฟิล์ม) คือ “LDPE/KC/EVA/LDPE” และเพื่อความกระชับของเนื้อหาจึงขอเรียกฟิล์มพลาสติกหลายชั้นซึ่งเป็นฟิล์มแอคทีฟ (Active film) ว่า ฟิล์ม KC (รูปที่ 1ก)



รูปที่ 1 แบบจำลองแนวคิดของฟิล์มแอคทีฟ KC ซึ่งเป็นฟิล์มแอคทีฟประเภทฟิล์มพลาสติกหลายชั้นซึ่งมีส่วนประกอบของซีซีชั้นไม้ (ก) และ ช่องควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลประเภท 4-side-sealed (ข)

ภายหลังจากการเตรียมฟิล์มพลาสติกหลายชั้น ผู้วิจัยได้นำฟิล์มแอคทิฟมาทำการขึ้นรูปเป็นซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล โดยประยุกต์วิธีการที่รายงานโดย Kampawong et al. (2021) มีรายละเอียดดังนี้ นำฟิล์ม KC เชื่อมประกบกับฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนต (ขนาด 7x7 cm เท่ากันทั้งสองแผ่นฟิล์ม) ด้วยความร้อน (Heat-sealing) เพื่อขึ้นรูปเป็นซองขนาดเล็กปิดผนึกสามด้าน (3-side-sealed) จากนั้นนำกระดาษกรองขนาด 6x6 cm ซึ่งเอิบชุ่มด้วยเอทานอลเหลว 99.9% (v/v) (ปริมาตรเท่ากับ 0.4 ml) ใส่ลงในซองควบคุมฯ แล้วปิดผนึกด้านที่เปิดนั้นด้วยความร้อน ส่งผลให้ได้ซองขนาดเล็กแบบปิดผนึก 4 ด้าน (4-side sealed) (รูปที่ 1ข) ทั้งนี้ชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนตมีสมบัติการซึมผ่านแก๊สและไอน้ำที่ต่ำมาก ดังนั้นการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ จึงเกิดขึ้นผ่านชั้นฟิล์มอีกด้านหนึ่งในลักษณะการปลดปล่อยทิศทางเดียว (One-dimension release) (Utto et al., 2018; Kampawong et al., 2021)

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เตรียมซองควบคุมฯ ที่มีรูปแบบเดียวกันแต่ใช้วัสดุฟิล์ม LDPE (30 μm) หรือ ฟิล์มหลายชั้นที่ไม่มีส่วนประกอบของซีซีซีเอ็มจี (LDPE/EVA/LDPE) (176 μm) ประกบกับฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนต จุดประสงค์ของการเตรียมซองควบคุมฯ โดยใช้ฟิล์มพลาสติกอื่น ๆ เพื่อเป็นการศึกษาผลของชนิดฟิล์มพลาสติกต่อการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีสิ่งทดลอง (Treatments) จำนวน 3 สิ่งทดลอง ซึ่งทำการแบ่งตามชนิดของฟิล์มพลาสติกที่นำมาทำเป็นวัสดุของซองควบคุมฯ ประกอบด้วย (1) ฟิล์ม KC (ตัวอย่างของสิ่งทดลอง คือ KC sachet) (2) ฟิล์ม LDPE/EVA/LDPE (ตัวอย่างของสิ่งทดลอง คือ 2LDEVA sachet) และ (3) ฟิล์ม LDPE (ตัวอย่างของสิ่งทดลอง คือ LDPE sachet)

4. การทดสอบการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ

ภายหลังจากเตรียมซองควบคุมฯ เสร็จแล้ว ได้ดำเนินการทดสอบการปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ ประเภทต่าง ๆ โดยประยุกต์วิธีของ พัชร และคณะ (2563); Kampawong et al. (2021) ซึ่งเป็นการปล่อยไอระเหยเอทานอลในระบบปิด โดยมีรายละเอียดดังนี้ นำซองควบคุมฯ ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร (1 ซองควบคุมฯ ต่อ 1 บีกเกอร์) จากนั้นนำบีกเกอร์บรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมลามิเนตและปิดผนึกด้วยความร้อนโดยให้รอยปิดผนึกใกล้ชิดกับปากบีกเกอร์ที่อยู่ภายในถุง และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 17 วัน ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่ปลดปล่อยและสะสมในบรรยากาศของถุงอะลูมิเนียมลามิเนตได้ทำการวิเคราะห์ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ประกอบด้วย (1) ดำเนินการวัดทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมง ภายหลังจากการปิดปากถุงอะลูมิเนียมฯ (2) ดำเนินการวัดในรอบ 24 ชั่วโมง ภายหลังจากปิดปากถุง จนครบ 17 วัน ตัวอย่างของแก๊สในบรรยากาศของถุงอะลูมิเนียมฯ ได้ทำการสุ่มเก็บ (Sampling) ด้วยเข็ม Gas-tight syringe (Hamilton) โดยรูที่เกิดขึ้น ณ บริเวณที่เข็มเจาะในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างได้ถูกปิดอย่างรวดเร็วโดยแผ่นเทปกาอะลูมิเนียม ตัวอย่างแก๊สในเข็มได้ถูกนำไปฉีดเข้าในเครื่อง Gas chromatogram (GC 2014, Shimadzu, Japan) ประเภท Flame ionized detector (FID-GC) โดยมีสภาวะสำหรับการวิเคราะห์ ดังนี้ Injector temperature 150°C Detector temperature 250°C และ Oven temperature ซึ่งมีการกำหนดระดับของอุณหภูมิไว้ดังนี้ อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 3 min จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็ว 10°C min⁻¹ จนถึง 200°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 3 min โดยมีแก๊ส Helium ทำหน้าที่เป็น Carrier gas (Flow rate 50 ml min⁻¹) ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลรายงานในหน่วยของ Part per million หรือ $\mu\text{L L}^{-1}$ ทั้งนี้จำนวนซ้ำของการเก็บตัวอย่างในช่วง 6 ชั่วโมงแรกดำเนินการเก็บ 1 ซ้ำ เนื่องจากข้อจำกัดของรอบเวลาในการวิเคราะห์ (ประมาณ 20 นาที ต่อตัวอย่าง) ส่วนการเก็บตัวอย่างตามรอบ 24 ชั่วโมงได้เก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้นำผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่วิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตแกรมข้างต้น มาใช้ในศึกษาจลนพลศาสตร์ (Kinetics) ซึ่งเกี่ยวกับอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรจุภัณฑ์ซึ่งเป็นผลจากอัตราเร็วของการปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ในการศึกษาของ วีระเวทย์ และคณะ (2555) พบว่า อันดับของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์เป็นอันดับที่ 1 (First order) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงหรือการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นและ/หรือปริมาณของสารตั้งต้น

(ณ ที่นี้ คือ ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ในบรรจุภัณฑ์ และ/หรือปริมาณไธราฟอสฟอไรต์ในตัวพาในช่องควบคุม) (Earle and Earle, 2003) ดังนั้นผู้วิจัยได้ประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ First-order reaction model (สมการที่ 1) เพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ในบรรจุภัณฑ์

$$C_t^{EtOH} = C_{max}^{EtOH} (1 - \exp(-k_{1st}^{EtOH} \cdot t)) \quad (1)$$

กำหนดให้ C_t^{EtOH} คือ ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ในเวลาใด ๆ (t) ($\mu\text{L L}^{-1}$) C_{max}^{EtOH} คือ ค่าประมาณความเข้มข้นสูงสุดของไธราฟอสฟอไรต์ ($\mu\text{L L}^{-1}$) k_{1st}^{EtOH} คือ ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์แบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (day^{-1}) และ t คือ ระยะเวลาการเก็บรักษา (day)

6. แผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

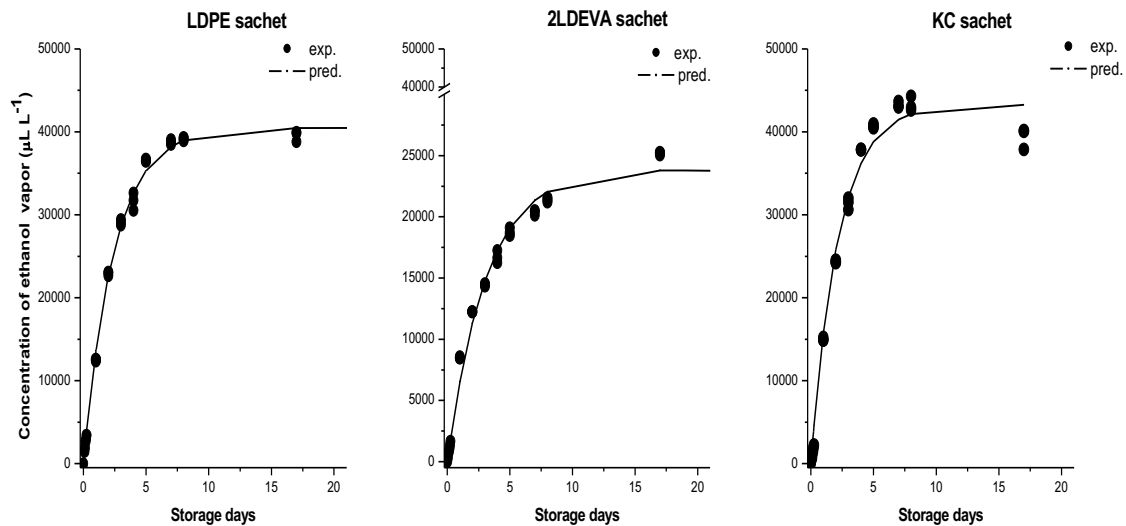
การศึกษานี้วางแผนการทดลองแบบ Factorial in completely randomized design โดยมี 2 ปัจจัยประกอบด้วย (1) ชนิดวัสดุของซอง Sachet และ (2) ระยะเวลาการเก็บรักษา ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ 1 ได้ใช้แนวทางของ Nonlinear regression ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel® 2019 (Microsoft Inc.) และดำเนินการตามวิธีที่ได้นำเสนอโดย Ávila and Silva (1999) โดยความแม่นยำของการทำนายค่าที่ได้จากการทดลองด้วยสมการที่ 1 แสดงด้วยค่า R^2 ซึ่งประยุกต์แนวทางที่รายงานโดย Phungam et al. (2018) การวิจัยนี้ได้ศึกษาในช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม 2565

ผลการวิจัย

ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ที่ปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ทุกประเภท และสะสมในบรรจุภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษา จากนั้นระดับความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระยะเวลาการทดสอบ (รูปที่ 2) เมื่อพิจารณาในวันที่ 17 ของการเก็บรักษา พบว่า ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ที่ปลดปล่อยและสะสมจากซองควบคุมฯ ประเภท 2LDEVA และ KC มีการเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยตามลำดับเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดในวันที่ 7 ทั้งนี้ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ในสถานะคงที่ (Steady-state concentration ในช่วงระหว่างวันที่ 8-17 ของการเก็บรักษา) ซึ่งเป็นผลจากการปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ประเภท KC sachet มีระดับที่สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ในขณะที่ความเข้มข้นในสิ่งทดลอง 2LDEVA มีค่าต่ำที่สุด ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์จากสิ่งทดลองต่าง ๆ ด้วยสมการที่ 1 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ k_{1st}^{EtOH} มีค่าอยู่ในระหว่าง $0.32\text{-}0.45 \text{ day}^{-1}$ โดยค่า k_{1st}^{EtOH} ของสิ่งทดลอง KC sachet มีค่าสูงที่สุด และพบว่าค่าดังกล่าวของสิ่งทดลอง 2LDEVA sachet มีค่าต่ำสุด แต่ค่าสัมประสิทธิ์ k_{1st}^{EtOH} ของสิ่งทดลอง LDPE sachet ต่ำกว่าของสิ่งทดลอง KC sachet เล็กน้อย ค่าความเข้มข้นสูงสุด (C_{max}^{EtOH}) ที่ทำนายจากสมการที่ 1 ของสิ่งทดลองทั้งสามมีค่าอยู่ในระหว่าง $23,000\text{-}43,300 \mu\text{L L}^{-1}$ โดยมีลำดับเมื่อเรียงจากค่าสูงไปยั้งค่าต่ำ คือ $\text{KC} > \text{LDPE} > \text{2LDEVA sachet}$ ทั้งนี้ค่า R^2 ของการประมาณค่าความเข้มข้นด้วยสมการที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.99 ในทุกสิ่งทดลอง (ตารางที่ 1)

ข้อมูลซึ่งเป็นผลของการวิเคราะห์แก๊สโครมาโตแกรมแสดงในรูปที่ 3 โครมาโตแกรมของไธราฟอสฟอไรต์มีระยะเวลาในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ หรือเรียกว่าเวลาริเทนชัน (Retention time RT หรือ เวลา RT) อยู่ในช่วง 8.20 นาที และมีพื้นที่ใต้กราฟของโครมาโตแกรมมีค่าสูงกว่าโครมาโตแกรมอื่น ๆ (พิจารณา ณ เวลา RT อื่น ๆ) เมื่อพิจารณาโครมาโตแกรมของสิ่งทดลอง LDPE และ 2LDEVA sachet พบว่า มีจำนวนของโครมาโตแกรมที่วิเคราะห์จากตัวอย่างที่ใกล้เคียงหรือเท่ากัน

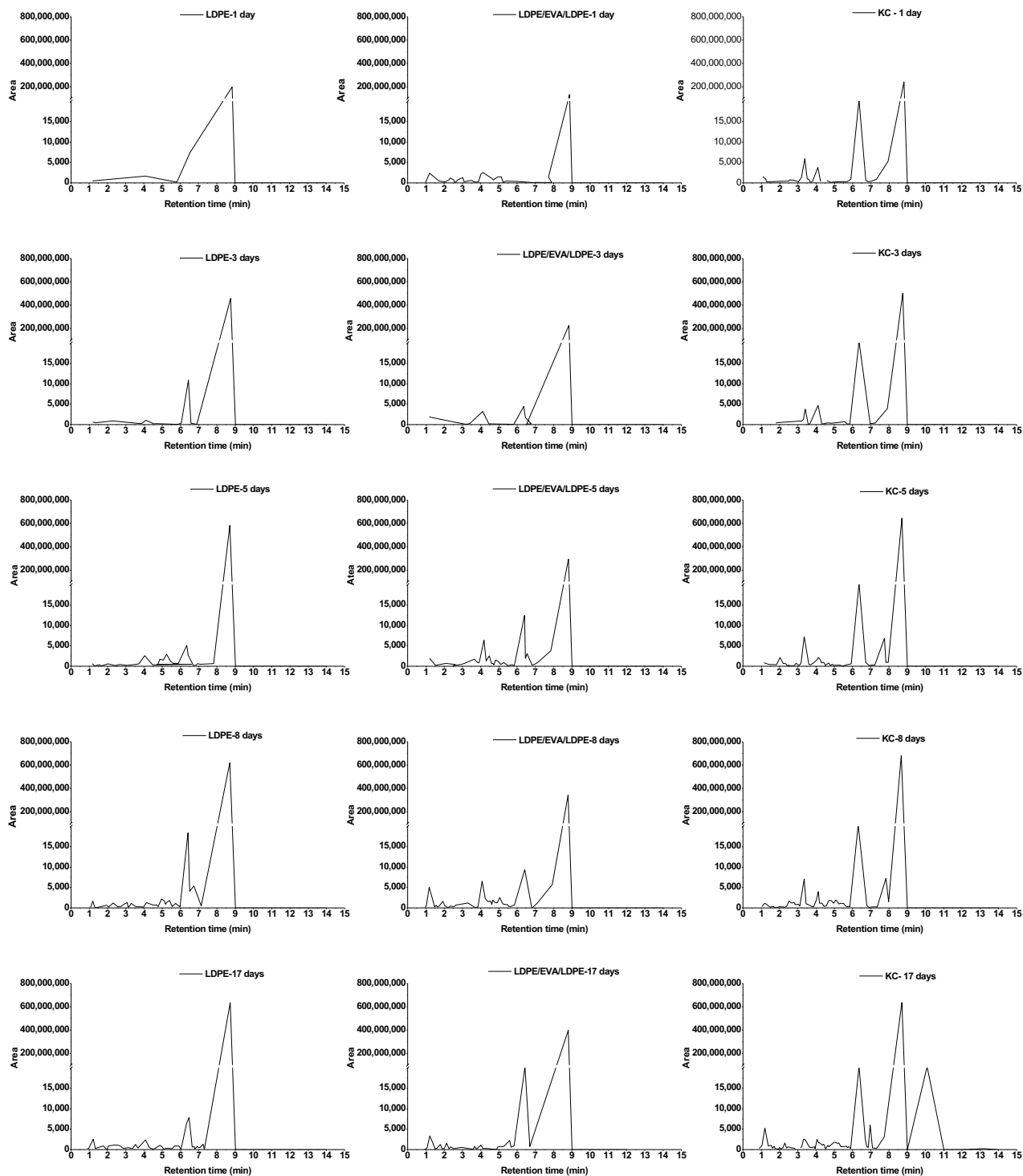
โดยเฉพาะพื้นที่ใต้กราฟของโครมาโตแกรมของเอทานอลที่ความใกล้เคียงหรือเท่ากัน ในทางตรงกันข้าม พบว่าโครมาโตแกรมที่เวลา RT เท่ากับ 3.5 นาที พบเพียงในตัวอย่างของสิ่งทดลอง KC sachet โดยพื้นที่ใต้กราฟฯ และเวลา RT ของโครมาโตแกรมนี้มีความสม่ำเสมอในแต่ละครั้งของการทำการวิเคราะห์ (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่ปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ประเภทต่าง ๆ และสะสมในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ถุงอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 17 วัน สัญลักษณ์ ● ที่แสดงแทนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (exp.) และ เส้นสีดำ คือ ข้อมูลความเข้มข้นฯ ที่ทำนายโดยสมการที่ 1 (pred.)

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (สมการที่ 1) ของจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในระบบปิด ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 17 วัน

ซองควบคุมฯ	k_{1st}^{EtOH} (day ⁻¹)	C_{max}^{EtOH} (µL L ⁻¹)	R ²
LDPE	0.41	40,495.96	0.99
2LDEVA	0.32	23,873.65	0.99
KC	0.45	43,284.11	0.99



รูปที่ 3 ลักษณะของ FID-GC โครมาโตแกรมของตัวอย่างแก๊ส (Gaseous samples) ในบรรจุภัณฑ์ที่มีช่องควบคุมฯ ทำจากวัสดุ LDPE 2LDEVA และ KC ซึ่งทำการวิเคราะห์ในวันต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา 17 วัน

การอภิปรายผล

ของควบคุมการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอลทุกประเภทได้ปลดปล่อยเอทานอลเข้าสู่บรรยากาศภายในของบรรจุภัณฑ์ตลอดระยะเวลาของการศึกษา การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลในช่วงแรกของการเก็บรักษาโดยเฉพาะ 5 วันแรก พบว่า เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วแต่ภายหลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ช้ากว่าและมีแนวโน้มคงที่ภายหลังจากการเก็บรักษา 7 วัน (รูปที่ 2) ลักษณะของการปลดปล่อย (Release profile) ดังกล่าวเป็นผลความแตกต่างของความดันไธเรเฮเอทานอลซึ่งอยู่ภายในของควบคุมฯ และบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ กลไกที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการปลดปล่อยดังกล่าวได้นำเสนอใน Utto (2014) และ Kampawong et al. (2021) กล่าวโดยสรุปคือ ในช่วงเริ่มต้นของการปลดปล่อย ($t = 0$) ภายในบรรจุภัณฑ์ไม่มีไธเรเฮเอทานอลแต่ภายในของควบคุมฯ มีไธเรเฮเอทานอลซึ่งมีความดันหรือความเข้มข้นที่สูง เนื่องจากการสะสมของไธเรเฮเอทานอลปลดปล่อยจากตัวพา (กระดาษกรอง) ที่เอบั่มด้วยเอทานอลเหลวภายในของควบคุมฯ ด้วยความแตกต่างระหว่างความดันไธเรเฮเอทานอลระหว่างของควบคุมฯ กับบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์มีค่าที่สูง ส่งผลให้อัตราเร็วของการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอลมีค่าสูงตามกฎข้อที่ 1 ของฟิก (Fick's first law) ที่แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกของอัตราเร็วของการแพร่ผ่านตัวกลางกับความแตกต่างของความดัน (Pressure gradient) ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving force) ของการแพร่หรือถ่ายโอนมวล (วีรเวทย์, 2562) ทั้งนี้อัตราเร็วของการปลดปล่อยและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลในบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงภายหลังจากวันที่ 5 ของการเก็บรักษา เนื่องจากระดับความแตกต่างของความดันไธเรเฮเอทานอลภายในของควบคุมฯ และภายในบรรจุภัณฑ์ลดลง อันเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของความดันไธเรเฮเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ เมื่อพิจารณาข้อมูลภายหลังจากการเก็บรักษา 7 วัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นในบรรจุภัณฑ์เกิดขึ้นน้อยและเข้าสู่สภาวะกึ่งคงที่ (Quasi-steady state) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากความดันไธเรเฮเอทานอลภายในของควบคุมฯ และภายในบรรจุภัณฑ์มีค่าแตกต่างกันที่น้อยลง ทั้งนี้ความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลในสิ่งทดลอง KC sachet ณ วันที่ 17 ของการเก็บรักษามีค่าลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 2) อาจเป็นผลจากการลดลงของความเข้มข้นไธเรเฮเอทานอลในของควบคุมฯ ที่เกิดจากปริมาณเอทานอลเหลวบนตัวพาได้ลดลงภายหลังจากการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอลไปได้ระยะหนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลที่สมดุลกับปริมาณเอทานอลบนตัวพาเป็นสมบัติไอโซเทอร์ของการดูดซับ-การคาย (Sorption isotherm) (Utto et al., 2014; Utto et al., 2018)

จากผลการศึกษาลงพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไธเรเฮเอทานอลด้วยสมการที่ 1 ทำให้ทราบว่าชนิดของวัสดุ APM ซึ่งนำมาทำเป็นของควบคุมฯ มีผลต่ออัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น (k_{1st}^{EtOH}) อันเป็นผลจากการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอล (รูปที่ 2 และตารางที่ 1) อัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลในสิ่งทดลอง KC sachet มีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ในขณะที่อัตราเร็วในสิ่งทดลอง 2LDEVA มีค่าที่ต่ำสุด ทั้งนี้ความเข้มข้นสูงสุด (C_{max}^{EtOH}) ที่ได้จากการทำนายโดยสมการที่ 1 มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอัตราเร็วของการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอลจากของควบคุมฯ จากกฎของฟิกข้อที่ 1 ซึ่งอัตราเร็วของการแพร่ผ่านตัวกลางผกผันกับความหนาของชั้นตัวกลาง ดังนั้นการปลดปล่อยเอทานอลจากของควบคุมฯ ที่ทำจากฟิล์ม 2LDEVA หรือฟิล์ม KC จึงเกิดขึ้นในอัตราเร็วที่ต่ำเนื่องจากวัสดุฟิล์มมีความหนาสูงสุด จึงส่งผลให้เกิดการสะสมของไธเรเฮเอทานอลในระดับความเข้มข้นที่มีค่าต่ำกว่าในสิ่งทดลองอื่น ๆ (รูปที่ 2)

เมื่อพิจารณาจากกฎของฟิกดังกล่าว ทำให้คาดคะเนได้ว่าอัตราเร็วการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและระดับค่า C_{max}^{EtOH} ที่สูงสุดควรเกิดขึ้นในสิ่งทดลอง LDPE sachet เนื่องจากฟิล์มพลาสติก LDPE มีความหนาที่ต่ำกว่าฟิล์มหลายชั้นทั้งสองประเภท แต่ผลการศึกษาก็แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลอง KC sachet มีค่า k_{1st}^{EtOH} และ ค่า C_{max}^{EtOH} สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อาจเป็นผลมาจากชั้นของซีซีซีที่ไม่จิกที่เป็นส่วนประกอบของฟิล์มหลายชั้น ซีซีซีไม่จิกละลายได้ในตัวทำละลายเอทานอลและเกิดการ

ปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์กลุ่มเทอร์พีน หรือน้ำมันหอมระเหยอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของซีซีซีชันไม้จิก จากนั้น สารประกอบเหล่านี้เกิดปฏิกิริยากับชั้นฟิล์มพลาสติกและนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์พลาสติกไซเซชัน (Plasticization phenomena) ที่ส่งผลให้มีการขยายตัวของปริมาตรอิสระ (Free volume) ภายในโครงสร้างพอลิเมอร์ การเปลี่ยนแปลงใน โครงสร้างดังกล่าวทำให้กระบวนการแพร่และการดูดซับสารเข้าสู่โครงสร้างพอลิเมอร์เกิดขึ้นในอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น (พัชร และคณะ 2563; Johansson and Leufven, 1994; Utto et al., 2016) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันหอมระเหยกับ ฟิล์มพลาสติกที่ส่งผลให้เกิดพลาสติกไซเซชันซึ่งเพิ่มอัตราเร็วของการซึมผ่านชั้นฟิล์มของโมเลกุลน้ำมันหอมระเหย ได้รับรายงานอย่างกว้างขวางดังในตัวอย่างรายงานในการศึกษาผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู (Clove oil) และเปปเปอร์มินต์ (Peppermint) ในฟิล์มคอมพอสิต Polylactic acid/Poly (Butylene adipate-co-terephthalate)/Thermoplastic starch (Gui et al., 2022) ในการพัฒนาของควบคุมการปล่อยไธเรเฮเอทานอลที่มีฟิล์ม พลาสติก LDPE และ EVA เป็นองค์ประกอบ หทัยพร (2563) รายงานว่าไธเรเฮเอทานอลซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประเภทหนึ่ง สามารถเกิดปฏิกิริยากับฟิล์มพลาสติกทั้งสองและส่งผลให้เกิดพลาสติกไซเซชันภายในโครงสร้างพอลิเมอร์ ทั้งนี้สมบัติการยอม ให้อิธเรเฮเอทานอลซึมผ่าน (Effective film permeance to ethanol vapor หรือ FPE) มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นตามระดับความ เข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไธเรเฮเอทานอลกับฟิล์มพลาสติก และนำไปสู่ การเกิดพลาสติกไซเซชัน ในโครงสร้างพอลิเมอร์ ผลของการเกิดปฏิกิริยาอาจสังเกตได้ด้วยตาเปล่าโดยเฉพาการบวมของฟิล์ม พลาสติกซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงการขยายตัวของโครงสร้างและปริมาตรอิสระในชั้นพอลิเมอร์ (Miyachi et al., 1996) ในการศึกษาที่ต่อเนื่องกับการวิจัยนี้ ผู้วิจัยพบแนวโน้มเบื้องต้นของค่า FPE ของฟิล์มทั้งสามประเภท โดยพบว่า ค่า FPE ของฟิล์มแอคทีฟ KC มีค่าสูงที่สุด และของฟิล์ม 2LDEVA มีค่าต่ำสุด (ไม่รายงานผลเนื่องจากอยู่ในระหว่างการการศึกษา)

จากข้อมูลในการเกิดพลาสติกไซเซชันในโครงสร้างพอลิเมอร์ของฟิล์มพลาสติกจากเอทานอลและ/หรือสารประกอบอินทรีย์ ที่มีอยู่ในเทอร์พีนหรือน้ำมันหอมระเหย ดังนั้นผู้วิจัยจึงคาดคะเนว่าการเกิดพลาสติกไซเซชันในโครงสร้างพอลิเมอร์ ของฟิล์ม KC เกิดขึ้นในระดับที่มากกว่าฟิล์ม LDPE เนื่องจากในฟิล์มแอคทีฟ KC มีส่วนประกอบของซีซีซีชันไม้ซึ่งเป็น องค์ประกอบที่ต่างจากฟิล์ม LDPE โดยสารประกอบอินทรีย์ของซีซีซีชันไม้ทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ดังนั้น ของควบคุมฯ KC sachet จึงปลดปล่อยไธเรเฮด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าดังข้อมูลที่สนับสนุนด้วยค่า k_{1st}^{EtOH} และค่า C_{max}^{EtOH} ที่ สูงที่สุด ในรูปที่ 3 ผู้วิจัยได้รายงานผลโครมาโตแกรมของตัวอย่างแก๊ส พบว่า โครมาโตแกรมในสิ่งทดลอง KC sachet มีความ แตกต่างจากสิ่งทดลองอื่น ๆ ที่เวลา RT 3.20 นาที ในปัจจุบันผู้วิจัยอยู่ในระหว่างการการศึกษาเพื่อพิสูจน์ทราบประเภทของ สารประกอบที่สามารถตรวจจับด้วยเครื่อง FID-GC แนวทางการศึกษาได้วางแผนใช้เครื่อง FID-GC ซึ่งมีเครื่อง Mass spectrophotometer (หรือ GC-MS) และเครื่องฟลูริเยร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรโมโครสโคป (Fourier transform infrared spectroscopy; FTIR) เพื่อวิเคราะห์หาสารประกอบที่อยู่ภายในโครงสร้างของฟิล์มพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุของของ ควบคุมฯ โดยจะได้ทำการนำเสนอในอนาคตต่อไป

เมื่อพิจารณาผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไธเรเฮเอทานอลด้วยสมการที่ 1 พบว่า ค่า R^2 ของทุกสิ่งทดลองใกล้เคียง 1 ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสมการที่ 1 ทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฯ ได้ดี มาก และสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้มากกว่าร้อยละ 99 ข้อมูลดังกล่าวสนับสนุนการปลดปล่อยไธเรเฮ เอทานอลจากของควบคุมฯ ว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ดังที่ได้รายงานในการศึกษาของวีรเวทย์ และคณะ (2555)

บทสรุป

ผลจากการศึกษาที่ได้รายงานข้างต้น ทำให้ทราบได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการนำซีซีซีชันไม้จิกมาพัฒนาเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ แอคทีฟ (วัสดุ APM) โดยใช้ในรูปของฟิล์มหลายชั้นเพื่อเป็นวัสดุของของควบคุมการปล่อยไธเรเฮเอทานอลสำหรับการ

- Gui H., Zhao M., Zhang S., Yin R., Hu C., Fan M. and Li L. (2022). Active antioxidant packaging from essential oils incorporated polylactic acid/ poly (butylene adipate-co-terephthalate)/thermoplastic starch for preserving straw mushroom. *Foods*. 11(15): 1-15.
- Han Lyn F. and Nur Hanani Z.A. (2020). Effect of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil on the properties of chitosan films for active packaging. *Journal of Packaging Technology and Research*. 4(1): 33-44.
- Johansson F. and Leufven A. (1994). Food packaging polymer films as aroma vapor barriers at different relative humidities. *Journal of Food Science*. 59(6): 1328-1331.
- Kampawong H., Utto W. and Pruthikul R. (2021). Effects of relative humidity on ethanol vapour releases from hydrophilic film-based sachet in active food packaging. *Food Research*. 5(5): 89-94.
- Khorram F. and Ramezani A. (2021). Cinnamon essential oil incorporated in shellac, a novel bio-product to maintain quality of 'Thomson navel' orange fruit. *Journal of Food Science and Technology*. 58(8): 2963-2972.
- Mahizan N.A., Yang S.K., Moo C.L., Song A.A.L., Chong C.M., Chong C.W., Abushelaibi A., Lim S.H. E. and Lai K.S. (2019). Terpene derivatives as a potential agent against antimicrobial resistance (amr) pathogens. *Molecules*. 24(14): 1-21.
- Masyita A., Mustika Sari R., Dwi Astuti A., Yasir B., Rahma Rumata N., Emran T. B., Nainu F. and Simal-Gandara J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*. 13(1): 8-17.
- Miyauchi M., Nakanishi Y. and Sagara Y. (1996). Permeation of water and volatile flavors through packaging films. *Food Science and Technology International*, Tokyo. 2(4): 217-222.
- Morkhade D.M. (2017) Evaluation of gum mastic (*Pistacia lentiscus*) as a microencapsulating and matrix forming material for sustained drug release. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 12(5): 424-432.
- Phromnoi K., Sinchaiyakij P., Khanaree C., Nuntaboon P., Chanwikrai Y., Chaiwangsri T. and Suttajit M. (2019). Anti-inflammatory and antioxidant activities of medicinal plants used by traditional healers for antiulcer treatment. *Scientia Pharmaceutica*. 87(3): 1-12.
- Phungam, N., Utto, W. and Pruthikul, R. (2018). Interaction between surface coating using cabbage leaf wax extract and temperature on water vapour and gas exchange properties of fresh okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *International Food Research Journal*. 25(5): 1885-1892.
- Ramle S.F.M., Kawamura F., Sulaiman O., Hashim R. and Ohara S. (2010). Antifungal properties and radical scavenging activities of Dipterocarpaceae family from selected malaysian timbers. *Environmental Research and Technology*. 5(2): 70-74.
- Robertson G.L. (2012). *Food packaging: Principles and Practice*. 2nd Edition. Taylor and Francis Group: NY.
- Sharma S., Barkauskaite S., Jaiswal A.K. and Jaiswal S. (2021). Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*. 343(2): 128-133.

- Sireeratawong S., Khonsung P., Nanna U., Vannasiri S., Lertprasertsuke N., Singhalak T., Soonthornchareonnon N. and Jaijoy K. (2012). Anti-diarrheal activity and toxicity of learnng pid samud recipe. *African Journal of Traditional. Complementary and Alternative Medicines*. 9(4): 519-529.
- Thongsrikhem N., Taokaew S., Sriariyanun M. and Kirdponpattara S. (2022). Antibacterial activity in gelatin-bacterial cellulose composite film by thermally crosslinking with cinnamaldehyde towards food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*. 31(1): 58-66.
- Utto W. (2014). Factors affecting release of ethanol vapour in active modified atmosphere packaging systems for horticultural products. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 8(2): 75-85.
- Utto W., Pruthikul R., Malila P., Noomhorm A. and Bronlund J.E. (2016). Concentration and temperature dependences of effective ethanol vapor permeance of plastic films utilized in controlled release-based active packaging for horticultural products. *Key Engineering Materials*. 718(1): 45-48.
- Utto W., Preutikul R., Malila P., Noomhorm A. and Bronlund J.E. (2018). Delaying microbial proliferation in fresh peeled shallots by active packaging incorporating ethanol vapour controlled release sachets and low storage temperature. *Food Science and Technology International*. 24(1): 132-144.

Received: February 28, 2023; Revised: May 12, 2023; Accepted: May 20, 2023

การพัฒนาโรงเพาะเห็ดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและมูลค่าของเห็ดด้วยการควบคุม
ผ่านสมาร์ทโฟนสำหรับวิสาหกิจชุมชนผู้เพาะเห็ด
Development of smart mushroom farm to increase the efficiency and
value of mushrooms by using smartphone control for community
enterprises in mushroom farming

ธนพร พยอมใหม่^{1*} และสมสิน วาขุนทด¹Tanaporn Payommai^{1*} and Somsin Wangkhuntod¹¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา¹Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima Province

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

บทคัดย่อ

ปัจจุบันคนไทยหันมาใส่ใจดูแลสุขภาพมากขึ้น การบริโภคเห็ดจึงเป็นทางเลือกของผู้ที่รักสุขภาพ ซึ่งเห็ดถือเป็นที่ยอมรับและมีการนำมาประกอบเป็นอาหารรับประทานกันมาก ดังนั้นการเพาะเห็ดมีข้อจำกัดทางสภาพแวดล้อม ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี จึงส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ด้วยเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเพาะเห็ดด้วยระบบสมาร์ทฟาร์ม โดยการพัฒนาและออกแบบโรงเพาะเห็ดที่มีระบบควบคุมผ่านระบบอินเทอร์เน็ต สามารถช่วยให้การเพาะเห็ดเป็นงานง่าย ดูแลได้จากทุกพื้นที่ด้วยการนำนวัตกรรมมาประยุกต์ในการออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมแบบปิดสำหรับตู้เพาะเห็ดฟาร์มอัจฉริยะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนให้มีอุณหภูมิและความชื้นตามต้องการ โดยใช้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มาเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเห็ด เพื่อให้เห็ดที่ได้มีสภาพสมบูรณ์ น้ำหนักดีขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้นต่อเดือน ซึ่งเป็นอาชีพที่เหมาะสมกับในสถานการณ์โควิด ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าขนาดของเห็ดระบบปิดมีขนาดประมาณ 8.6 เซนติเมตร และขนาดของเห็ดนอกตู้เพาะเห็ดมีขนาดประมาณ 6.7 เซนติเมตร โดยการทดลองจากผลผลิตก่อนเชื้อเห็ดจำนวน 300 ก้อนเท่ากัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับโรงเพาะเห็ดแบบทั่วไป ซึ่งผลลัพธ์จากการเพาะเห็ดระบบปิดจะได้น้ำหนักของเห็ดที่มากกว่าการเพาะเห็ดแบบทั่วไป 29.3% และจำนวนการรอบการเกิดเห็ดเพิ่มขึ้น จากการทดลองเพาะเห็ดด้วยโรงเพาะเห็ดอัตโนมัติระยะเวลา 1 ปีสามารถสร้างรายได้ต่อเดือนมากกว่า 10,000 บาท

คำสำคัญ: ฟาร์มอัจฉริยะ ไมโครคอนโทรลเลอร์ การเพาะเห็ด

Abstract

Nowadays, Thai people have turned to pay more attention to taking care of their health. Consuming mushrooms is a choice for people who love health that help build a strong body. The mushroom is considered popular and is used as a very common food such as Yanagi mushroom, Phu Thean mushroom, also known as Phutan oyster mushroom, etc. Therefore, the cultivation of mushrooms is subject to environmental restrictions. Resulting in uneven yields throughout the year. Thus, resulting in insufficient quantity and quality to meet consumer demand. The research therefore brings innovation in the design of closed environment control systems as smart farm for mushroom incubators to improve performance mushroom. The objective is to control the environment within the house to have the desired temperature and humidity with the use of temperature control and humidity control and use a microcontroller in order for the mushrooms to be intact free from chemicals and diseases caused by insects. This will make the mushroom weight better. As a result, agriculture earns more per month, which is an ideal occupation in the COVID-19 situation. The results of the research showed that the size of mushrooms inside a closed mushroom incubator was about 8.6 centimeters and the size of mushrooms outside the incubator was about 6.7 centimeters. The experiment yielded 300 identical bales to compare conventional mushroom cultivation with closed-system mushroom cultivation, which resulted in 29.3% more mushroom weight than conventional mushroom cultivation. From the experiment of mushroom cultivation with an automatic mushroom cultivation plant for 1 year, the monthly income can be more than 10,000 baht.

Keywords: Smart farm, Microcontroller, Mushroom

บทนำ

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาและการเพิ่มประสิทธิภาพโรงเพาะเห็ดแบบครบวงจรผ่านระบบสมาร์ทฟาร์มด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแบบผสมวิธี ระหว่างเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยพื้นที่วิจัย บ้านสันติเยะ อำเภอนนไทย จังหวัดนครราชสีมา โดยคัดเลือกแบบเจาะจง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มการผลิตของภาคเกษตรให้เพิ่มขึ้นร้อยละ 20 โดยนำโรงเพาะเห็ดต้นแบบไปใช้ในการผลิตเห็ด ในราคาคู่ค้าต้นทุน ช่วยลดแรงงานในการดูแลรักษาและลดปัญหาการว่างงานของคนในอำเภอนนไทย จังหวัดนครราชสีมา ที่พบกับปัญหาด้านการทำกินบนพื้นที่ดินเค็มและขาดความรู้ด้านการเกษตรแนวใหม่ ขาดความรู้ด้านการบริหารจัดการน้ำที่เพียงพอ โดยศึกษาจากหลักการตามแนวคิดทฤษฎีและรูปแบบการพัฒนาศักยภาพทางการเกษตร ผลการสำรวจระบบนิเวศ สภาพแวดล้อม รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการทำเกษตร โดยนำข้อมูลต่าง ๆ มาเป็นแนวทางการพัฒนารูปแบบการเกษตรแนวใหม่ที่มีการวางระบบการบริหารจัดการน้ำ การใส่ปุ๋ย การดูแลที่เหมาะสมผ่านเทคโนโลยี เพื่อลดเวลา ซึ่งจากการตรวจสอบความเหมาะสมหรือความเป็นไปได้ของแนวทางที่ค้นพบ จากนั้นจึงออกแบบ คิดวิเคราะห์หารูปแบบแนวทางการพัฒนาและยกระดับรูปแบบการเกษตรที่มีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับกลยุทธ์ด้านการเกษตรแนวใหม่ซึ่งนำมาผสมผสานกับเทคโนโลยีและความรู้ในศาสตร์ด้านวิศวกรรมนำมาประยุกต์ใช้ในการเกษตร จากงานวิจัยการรักษาสภาพแวดล้อมภายในโรงเพาะเห็ดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด (ธีรยศ และประยูร, 2554) จะต้องมีการควบคุมปัจจัยที่สำคัญคืออุณหภูมิและความชื้นให้คงที่และเหมาะสมกับชนิดของเห็ด โดยโครงสร้างของระบบ

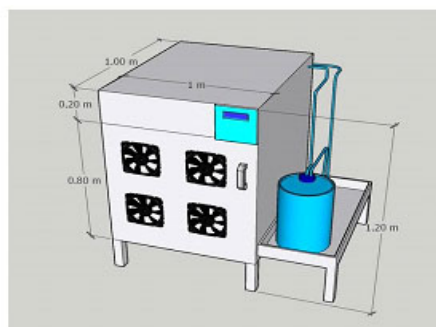
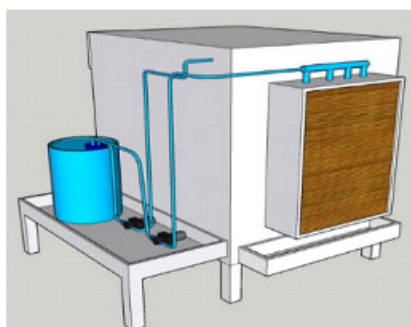
จะประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด อุณหภูมิและอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น เพื่อวัดอุณหภูมิและ ความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด ระบบปิด และส่งสัญญาณ ทางไฟฟ้าไปยังชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น งานวิจัยเกี่ยวกับระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นใน โรงเรือนเพาะเห็ด (บุญยัง และสันติ, 2559) ผลการวิจัยพบว่า เห็ดที่ได้จากโรงเรือนที่มีการควบคุม อุณหภูมิและความชื้นมีน้ำหนัก เฉลี่ย 1.865 กิโลกรัม และมี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.198 ซึ่งเทียบกับเห็ดที่เก็บจาก โรงเรือนแบบทั่วไป พบว่า มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.455 กิโลกรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.225 ผลการทดสอบนี้ยืนยันว่าอุณหภูมิและความชื้น มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อสร้างโรงเรือน (วีรศักดิ์ และคณะ, 2561) เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี และรายได้ให้กับคนในชุมชน โดยใช้พื้นที่ที่อยู่อย่างคุ้มค่าและเหมาะสม เพื่อเพิ่มผลผลิตและสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชน ดังนั้น การทำฟาร์มอัจฉริยะ (Smart farm) ที่มีความแม่นยำในการทำฟาร์ม โดยนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้เป็น เครื่องมือ เพื่อให้เกิดความสะดวกและง่ายต่อการจัดการ (Shashwathi et al., 2012) ซึ่งการเกษตรแนวใหม่ที่น่าการเกษตรมาใช้ กับเทคโนโลยีเพื่อให้การเกษตรทำได้ง่ายขึ้นเหมาะสำหรับผู้ที่มีอายุ ด้วยการออกแบบให้ง่ายในการดูแลโดยนำเทคโนโลยีมา ประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดบนพื้นที่ทำมาหากินของชาวบ้านที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด

จากปัจจัยที่เกี่ยวกับการเพาะเห็ดดังกล่าวทำให้มีเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชนที่สนใจเพาะเห็ดขายเพื่อสร้างรายได้ให้เป็น อาชีพค่อนข้างสูง แต่ในปัจจุบันยังมีวิสาหกิจชุมชนที่ลงทุนในการเพาะเห็ดค่อนข้างน้อยเนื่องจากข้อจำกัดในการบริหารจัดการ ฟาร์มอย่างถูกต้อง ดังนั้นเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชนที่สนใจเริ่มต้นทำธุรกิจการเพาะเห็ดจำเป็นต้องศึกษาหาข้อมูล ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจนี้และต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้านทั้งในเรื่องของปัจจัยการผลิตวิธีการผลิต เงินทุนและการตลาดของการผลิต (มงคล, 2555) จึงจะส่งผลให้การดำเนินงานประสบความสำเร็จและสามารถประกอบธุรกิจนี้ได้อย่างยั่งยืน การใช้เทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง IoT (Internet of things) เข้ามามีบทบาทในการทำเกษตรยุคใหม่มากขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานที่นำ IoT เข้ามาช่วยในการเพิ่มผลผลิตเช่นตัวอย่าง (อรพรรณ และคณะ, 2560) ด้วยคุณสมบัติที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และอำนวยความสะดวกสบายให้แก่เกษตรกร ลดปัจจัยเสี่ยง (ภูมินทร์ และคณะ, 2562) บนพื้นฐานการทำเกษตรที่ยั่งยืนและเป็นมิตร กับสิ่งแวดล้อม (Maheswari et al., 2008)

คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาและออกแบบสร้างโรงเพาะเห็ดที่มีระบบควบคุมการเปิดปิดรดน้ำอัตโนมัติ การควบคุมความชื้นในอากาศ ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตหรือเครือข่ายเคลื่อนที่ไร้สาย สามารถช่วยให้การเพาะเห็ดเป็นงานง่ายขึ้น สามารถจะดูแลได้จากทุกพื้นที่ ด้วยเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเพาะเห็ดด้วยระบบสมาร์ฟาร์ม โดยวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของการลงทุน ผลผลิตที่ได้ ระยะเวลาและปัจจัยความเสี่ยง เพื่อให้เกษตรกรที่มีความสนใจธุรกิจดังกล่าวสามารถศึกษาการลงทุนทำธุรกิจ และใช้ เป็นแนวทางในการตัดสินใจลงทุนผลิตเห็ดต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. โรงเรือนระบบปิด



รูปที่ 1 การออกแบบตู้เลี้ยงเห็ดแบบปิด

โรงเรือนระบบปิด หมายถึงโรงเรือนที่สามารถควบคุมในเรื่องของสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การระบาย อากาศ และแสงสว่างให้เหมาะสมกับการปลูกพืช สามารถป้องกันแมลง และสัตว์อื่นเข้าออกได้ โรงเรือนระบบปิดแบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยน้ำสำหรับการปลูกพืชเป็นโรงเรือนปลูกพืชแบบปิดที่ใช้ระบบการระบายอากาศรวมกับการทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำ เป็นการนำหลักการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (Tunnel ventilation) การทำความเย็นด้วยวิธีระเหยน้ำ อุณหภูมิที่เกิดจากความเร็วลม (Effective cooling) มาใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสม เป็นการเปลี่ยนความร้อนให้กลายเป็นความร้อนแฝง (Latent heat) ในการเพิ่มไอน้ำเพื่อลดอุณหภูมิในอากาศจากการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ และไอน้ำในอากาศเพื่อปรับปรุงสภาวะอากาศที่ใช้ในการปลูกพืชแต่ละสายพันธุ์ให้มีความเหมาะสมมากกว่าสภาวะอากาศตามธรรมชาติ เพื่อให้พืชมีสุขภาพดีให้ผลผลิตสูงและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

2. ระบบการทำความเย็นแบบอีแวป (Evaporative cooling) (ชลธิชา, 2559)

การทำความเย็นของ Evaporative cooling อาศัยหลักการดึงความร้อนจากอากาศไประเหยน้ำทำให้อากาศเย็นลง โดยปกติแล้วจะใช้วัสดุผิวเปียก ช่วยในการเพิ่มพื้นที่สัมผัสของน้ำกับอากาศ ทำให้การระเหยของน้ำเร็วขึ้น โดยทั่วไประบบการทำความเย็นแบบอีแวป แบ่งเป็น 2 ชนิดคือระบายความร้อนโดยตรงระเหย และการทำความเย็นแบบระเหยทางอ้อม การทำงานของระบบทำความเย็นแบบระบายความร้อนโดยตรงระเหย เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่าน Wetted media จากด้านที่ 1 Dry side ไปด้านที่ 2 Wetted side ทำให้น้ำที่ผิวของ Wetted media ระเหยกลายเป็นไอโดยการดึงความร้อนจากอากาศ Latent heat ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ดังนั้นจึงทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง แต่ในขณะเดียวกันจะมีความชื้นมากขึ้น

การทำงานของระบบการทำความเย็นแบบระเหยทางอ้อม เมื่อ Primary air เคลื่อนที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งภายในมีระบบพ่นฝอยน้ำ และ Secondary air ไหลผ่านน้ำภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะระเหย และ Secondary air จะเย็นลงและจะไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับ Primary air ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าทำให้ Primary air เย็นลงซึ่งข้อดีของระบบ Indirect evaporative cooling ก็คือสามารถลดอุณหภูมิอากาศโดยไม่เป็นการเพิ่มความชื้นอีกด้วย

3. อุณหภูมิและความชื้น

อุณหภูมิ (Temperature) คือค่าตัวเลขที่มีความสัมพันธ์กับระดับพลังงานจลน์ภายในอะตอมในระบบของสารสัมบูรณ์ ระดับพลังงานที่อุณหภูมิ 0 เคลวิน (เท่ากับ -273 องศาเซลเซียส) อะตอมไม่มีพลังงานอยู่เลย ดังนั้นอนุภาคทุกอย่างภายในอะตอมหยุดนิ่ง แม้กระทั่งอิเล็กตรอนก็ไม่โคจรรอบนิวเคลียส แต่เมื่ออะตอมได้รับพลังงานจนมีระดับอุณหภูมิสูงขึ้น อิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสและยกระดับชั้นวงโคจรสูงขึ้น ถ้าหากอะตอมได้รับพลังงานจนมีระดับอุณหภูมิสูงขึ้นไปอีก อิเล็กตรอนอาจจะยกตัวหลุดจากวงโคจรกลายเป็นประจุ (Ion) อย่างไรก็ตามพื้นผิวโลกและชั้นบรรยากาศที่คนพักอาศัยมีอุณหภูมิประมาณ 139-331 เคลวิน (-89 องศาเซลเซียส ถึง 58 องศาเซลเซียส) ที่ระดับพลังงานขนาดนี้ อะตอมจะไม่อยู่อย่างโดดเดี่ยวแต่จะเกาะตัวกันเป็นโมเลกุล การเคลื่อนที่ของโมเลกุลทำให้เกิดรูปแบบของพลังงานจลน์ซึ่งเรียกว่า “ความร้อน” (Heat)

ความชื้น (Humidity) หมายถึงปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเมื่อน้ำได้รับความร้อน น้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอเรียกว่าการระเหยซึ่งความร้อนที่ทำให้ น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำเรียกว่าความร้อนแฝง (Latent heat) เมื่ออากาศเย็นลงไอน้ำจะเริ่มกลั่นตัวเป็นละอองและคายความร้อนแฝงออกมาด้วยอากาศจะได้รับไอน้ำมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นตัวกำหนดปริมาณไอน้ำในอากาศอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะรับไอน้ำได้มากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ถ้าอากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้เรียกว่าไอน้ำอิ่มตัว (Saturate) ความชื้นในอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1) ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity) เป็นน้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริงในปริมาตรของอากาศจำนวนหนึ่ง คำนวณได้จากน้ำหนักของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศความชื้นสัมบูรณ์คือความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศ หน่วยที่ใช้เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความชื้นสัมบูรณ์ไม่นิยมใช้ในทางอุตุนิยมวิทยา เพราะเมื่ออากาศลอยตัวขึ้นหรือจมตัวลงจะทำให้ปริมาตรของอากาศเปลี่ยนแปลงเนื่องจากบริเวณรอบ ๆ ความกดอากาศจะเปลี่ยนแปลงแม้ว่าไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศจะคงที่

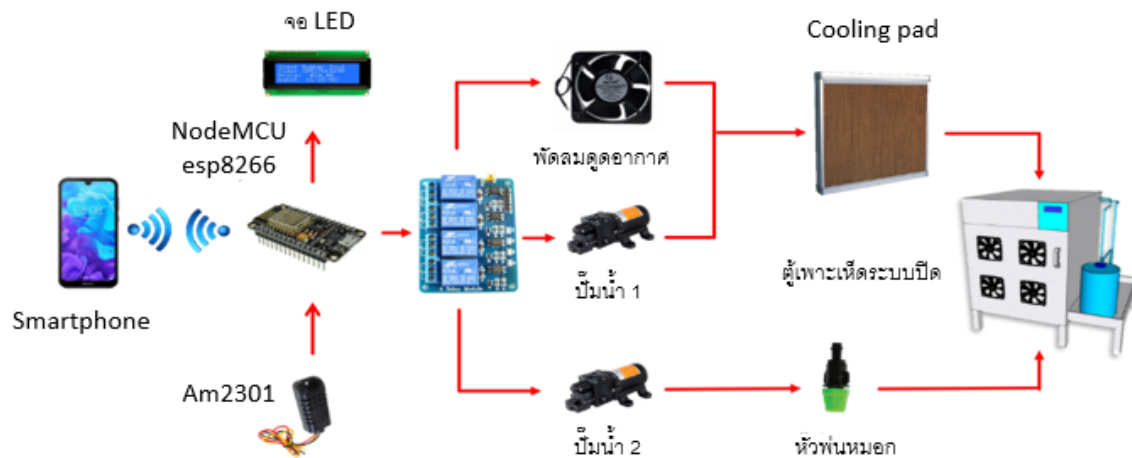
2) ความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) หมายถึงน้ำหนักหรือความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ (Q) เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักไอน้ำ (Mv) ต่อน้ำหนักของไอน้ำ (Mv) รวมกับน้ำหนักของอากาศ (Ma) มักใช้เป็นกรัมของน้ำต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศขึ้นดั่งสมการ $Q = Mv/(Mv+Ma)$ ความชื้นจำเพาะของอากาศจะมีค่าคงที่เมื่ออากาศขยายหรือหดตัวโดยที่ความชื้นจะไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าปริมาตรของอากาศจะขยายตัวหรือหดตัวก็ตาม

3) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำ ที่มีอยู่จริงที่อุณหภูมิและความดันหนึ่งต่อน้ำหนักของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความกดดันนั้นคิดเป็นค่าร้อยละ ตัวอย่างเช่นอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตรเมื่ออุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสมีไอน้ำอยู่ 9 กรัม และในอุณหภูมินั้นอากาศอิ่มตัวมีไอน้ำอยู่ 30 กรัมความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ $(100 \times 9)/30$ เท่ากับ 30% ความชื้นสัมพัทธ์เป็นวิธีวัดความชื้นในอากาศที่ใช้มากที่สุดการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ จะไม่ทำให้ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเปลี่ยนแปลงแต่อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลง และถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงด้วย

4) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) คืออุณหภูมิซึ่งอากาศถูกทำให้เย็นลง ถึงอุณหภูมิหนึ่งที่ไอน้ำจุดอิ่มตัวพอดีอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะเป็นเท่าใดก็ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ถ้าอากาศมีไอน้ำมากอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะสูง แต่ถ้าไอน้ำมีน้อยอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะต่ำ ถ้าอุณหภูมิของอากาศลดต่ำกว่าจุดน้ำค้างจะมีการกลั่นตัวในรูปของหยดน้ำ เช่น ในฤดูร้อนแก้วนํ้าที่ใส่นํ้าแข็งตั้งทิ้งไว้ความชื้นของอากาศจะรวมกันเป็นหยดน้ำเกาะอยู่รอบนอกแก้วนํ้า เนื่องจากอุณหภูมิของแก้วนํ้าที่ใส่นํ้าแข็งจะต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อยู่โดยรอบอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะบอกถึงความไม่สะดวกสบายของมนุษย์ในช่วงที่มีอากาศอุ่น และขึ้นได้ดีกว่าความชื้นสัมพัทธ์ยกเว้นผู้ที่เคยชินกับอากาศร้อนชื้นคนส่วนใหญ่รู้สึกว่าการอากาศชื้น ไม่สะดวกสบายเมื่ออุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ในบางขณะที่บางคนอาจไม่รู้สึกรบายตัวเมื่ออุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงกว่า 17 องศาเซลเซียส

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ขั้นตอนการดำเนินงานของตู้เพาะเห็ดระบบปิดโดยเริ่มจากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง จากนั้นออกแบบโครงสร้างตู้เพาะเห็ดระบบปิด จัดซื้ออุปกรณ์แล้วทำการประกอบโครงสร้าง พร้อมทดสอบการรับค่าของตัวตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยโปรแกรม เขียนโปรแกรมสั่งงานบอร์ดแล้วทดสอบระบบต่าง ๆ บันทึกผล สรุปผลการทดลองและแผนผังระบบการทำงาน ตู้เพาะเห็ดระบบปิดเริ่มจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรมและพัลลภระบายอากาศ แผงรังผึ้ง ป้อนน้ำมาติดตั้งที่โรงเรือนจากนั้นทำการเขียนโปรแกรมสั่งงานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาพรวมของงานทั้งหมดได้ดำเนินการออกแบบและสร้าง ตามผังงานรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการต่อระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ผลการวิจัย

การทดลองเลี้ยง 2 ชนิดคือ การทดลองเพาะเห็ดนางรมฮังการี และการทดลองเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐาน ตามรอบการขึ้นของหัวเชื้อเห็ด

1. การทดลองเพาะเห็ดนางรมฮังการี

สำหรับการทดลองเพาะเห็ดนางรมฮังการีนั้นเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการเพาะเห็ดแบบทั่วไปกับการเพาะเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด โดยการเพาะเห็ดเป็นการใช้เชื้อเห็ด 300 ก่อน ในการเพาะเห็ดแบบทั่วไปและการใช้เชื้อเห็ด 300 ก่อน ในการเพาะเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิดในการเก็บผลการทดลองจะทำการเก็บเห็ดมาเพื่อชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกันทุกวัน เป็นเวลา 31 วัน เริ่มวันที่ 20 เมษายน 2563 ถึง วันที่ 20 พฤษภาคม 2563 แสดงดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5 และการเพาะเห็ดฮังการีเป็นเวลา 31 วัน แสดงดังรูปที่ 6



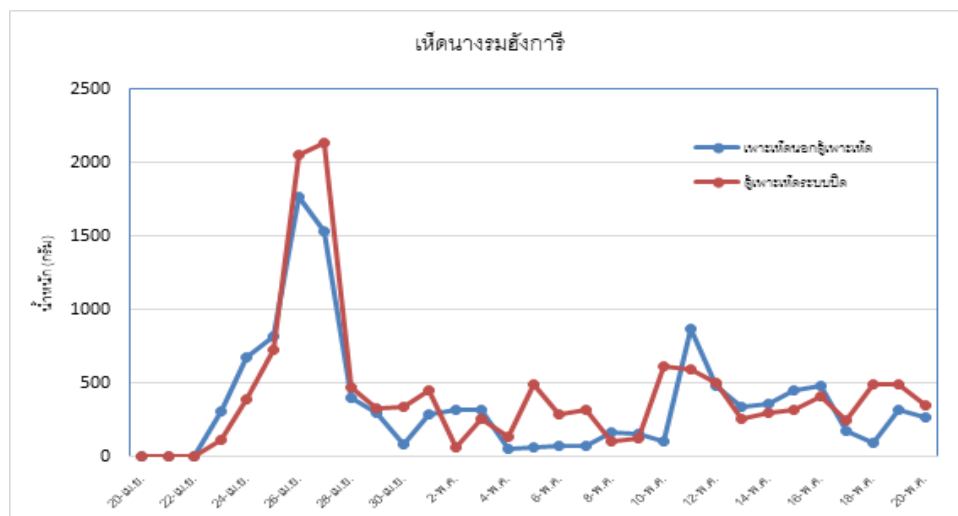
รูปที่ 3 การเพาะเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิดและน้ำหนักเห็ดฮังการีภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด



รูปที่ 4 การเพาะเห็ดอังการีแบบทั่วไป



รูปที่ 5 ชั่งน้ำหนักเห็ดอังการีแบบทั่วไป



รูปที่ 6 กราฟแสดงการเพาะเห็ดอังการีเป็นเวลา 31 วัน

จากการทดลองเพาะเห็ดนางรมอังการี โดยเริ่มจากก้อนเชื้อเห็ดเดินเต็มที่แล้วเริ่มนับจากการก้อนเชื้อเห็ดเริ่มออกผลผลิต ในก้อนแรกไปถึงระยะเวลา 31 วัน โดยประมาณซึ่งได้ทำการเก็บเห็ดทุกวันแสดงน้ำหนักเห็ดที่เก็บได้ดังตารางที่ 1 จะเห็นว่า การเพาะเห็ดนางรมอังการีภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด จะได้น้ำหนักของเห็ดที่มากกว่าการเพาะเห็ดแบบทั่วไป 3,012 กรัม คิดเป็น 29.3 %

ตารางที่ 1 ผลการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักเห็ดจากการเพาะเห็ดแบบทั่วไปกับตู้เพาะเห็ดระบบปิด

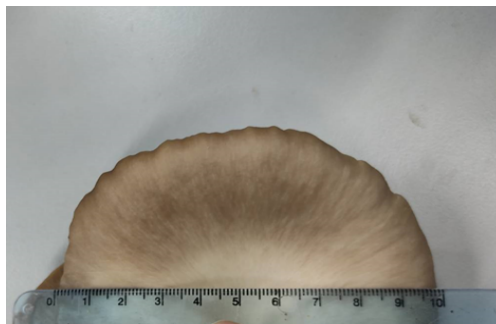
ครั้งที่	วันที่	น้ำหนัก (กรัม)	
		เพาะเห็ดแบบทั่วไป	ตู้เพาะเห็ดระบบปิด
1	20 เม.ย.	0	0
2	21 เม.ย.	0	0
3	22 เม.ย.	0	0
4	23 เม.ย.	207	111
5	24 เม.ย.	470	383
6	25 เม.ย.	715	729
7	26 เม.ย.	1,662	2,056
8	27 เม.ย.	1,433	2,135
9	28 เม.ย.	396	474
10	29 เม.ย.	292	323
11	30 เม.ย.	83	332
12	1 พ.ค.	288	445
13	2 พ.ค.	319	60
14	3 พ.ค.	318	259
15	4 พ.ค.	53	135
16	5 พ.ค.	62	490
17	6 พ.ค.	76	287
18	7 พ.ค.	68	320
19	8 พ.ค.	164	97
20	9 พ.ค.	154	118
21	10 พ.ค.	101	610
22	11 พ.ค.	472	590
23	12 พ.ค.	484	505
24	13 พ.ค.	335	253
25	14 พ.ค.	360	297
26	15 พ.ค.	447	314
27	16 พ.ค.	484	405
28	17 พ.ค.	169	243
29	18 พ.ค.	87	492
30	19 พ.ค.	313	486
31	20 พ.ค.	270	345
รวม		10282	13294

2. การทดลองเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐาน

สำหรับการทดลองเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานนั้น มีการทดลองอยู่ 3 ครั้ง ได้แก่ การทดลองเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด โดยมีก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 300 ก้อน ในการเก็บผลการทดลองจะเก็บเห็ดมาเพื่อชั่งน้ำหนักทุกวันเป็นเวลา 20 วัน เริ่มวันที่ 6 สิงหาคม 2563 ถึงวันที่ 25 สิงหาคม 2563 ดังรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 8 และการเพาะเห็ดยังการเป็นเวลา 31 วัน แสดงดังรูปที่ 6 จากกราฟจะเห็นได้ว่า ช่วงเดือนเมษายน มีปริมาณน้ำหนักของเห็ดสูง เนื่องจากเป็นครั้งแรกของการออกดอกเห็ดหลังจากที่เชื้อเห็ดเดินเต็มที่จะมีผลให้ปริมาณน้ำหนักเห็ดในช่วงแรกที่เกิดมีปริมาณน้ำหนักสูง



รูปที่ 7 เพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานภายในตู้เพาะเห็ดและน้ำหนักเห็ดนางฟ้าภูฐานภายในตู้เพาะเห็ด



รูปที่ 8 วัดขนาดของดอกเห็ด



รูปที่ 9 แสดงการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด 20 วัน

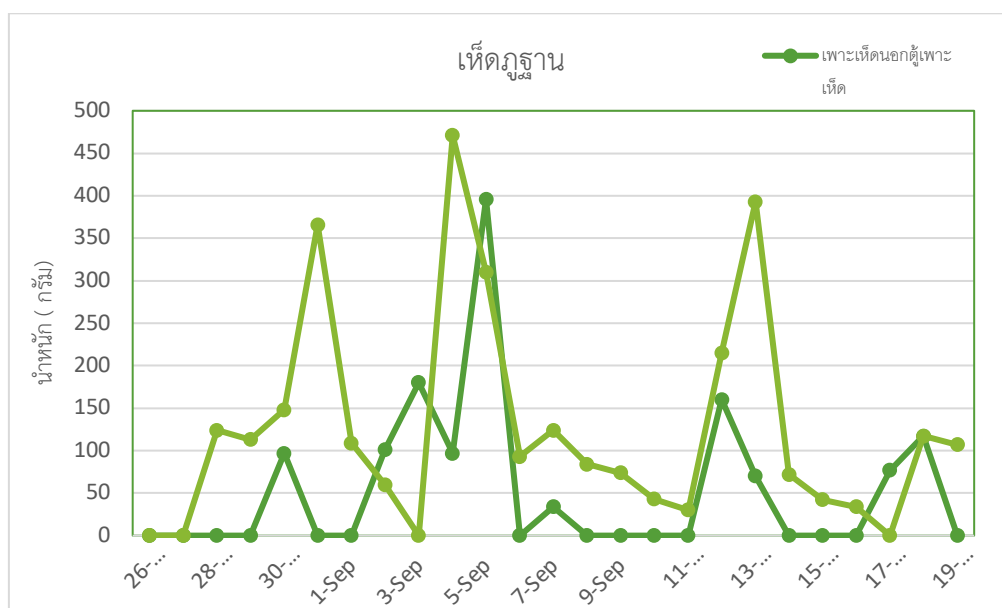
การทดลองเปรียบเทียบการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานระหว่างการเพาะแบบทั่วไปกับการเพาะเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด โดยการเพาะเห็ดเป็นการใช้เชื้อเห็ดจำนวน 100 ก้อน ทำการแบ่งเชื้อเห็ดในการทดลอง การเพาะเห็ดแบบทั่วไป 50 ก้อน และการเพาะเห็ดภายใน ตู้เพาะเห็ดระบบปิด 50 ก้อน ในการเก็บผลการทดลองจะเก็บเห็ดมาเพื่อชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกันทุกวัน เพื่อหาจุดคุ้มทุน เป็นเวลา 25 วัน เริ่มวันที่ 26 สิงหาคม 2563 ถึง วันที่ 19 กันยายน 2563 แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานแบบทั่วไปและน้ำหนักการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐาน



รูปที่ 11 การเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานภายในตู้เพาะเห็ดและน้ำหนักการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานภายในตู้เพาะเห็ด



รูปที่ 12 แสดงการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐานเป็นเวลา 25 วัน

3. การทดลองเปรียบเทียบขนาดและสีของเห็ด ระหว่างการเพาะเห็ดแบบทั่วไปกับการเพาะเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิดแสดงดังรูปที่ 13



(ก) ขนาดของเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด



(ข) ขนาดของเห็ดนอกตู้เพาะเห็ด

รูปที่ 13 ขนาดของเห็ดทั้งสองระบบ



(ก) สีของเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด



(ข) สีของเห็ดนอกตู้เพาะเห็ด

รูปที่ 14 สีของเห็ดทั้งสองระบบ

ตารางที่ 2 การคำนวณการคืนทุนจากการเพาะเลี้ยงเห็ดแบบปิด

ต้นทุนการผลิต 1 รอบ (120 วันหรือ 4 เดือน)	
จำนวนก้อนเห็ด 500 ก้อน ก้อนละ 7 บาท	3,500 บาท
ค่าไฟฟ้า	240 บาท
รวม	3,740 บาท
1 ปี ผลิต 3 รอบ	11,200 บาท
ค่าเสื่อม 5 ปี (ค่าโรงเรือนทั้งหมด 50000 บาท) ปีละ	10,000 บาท
รายได้จากการจำหน่ายผลผลิต 30 วัน (1 เดือน)	
ผลผลิตเห็ด 450 กรัม/ก้อน จำนวน 500 ก้อน	13,500 บาท
ราคาหน้าโรงผลิต 60 บาท/กก.	
1 ปี ผลิตได้ 12 ครั้ง	162,000 บาท

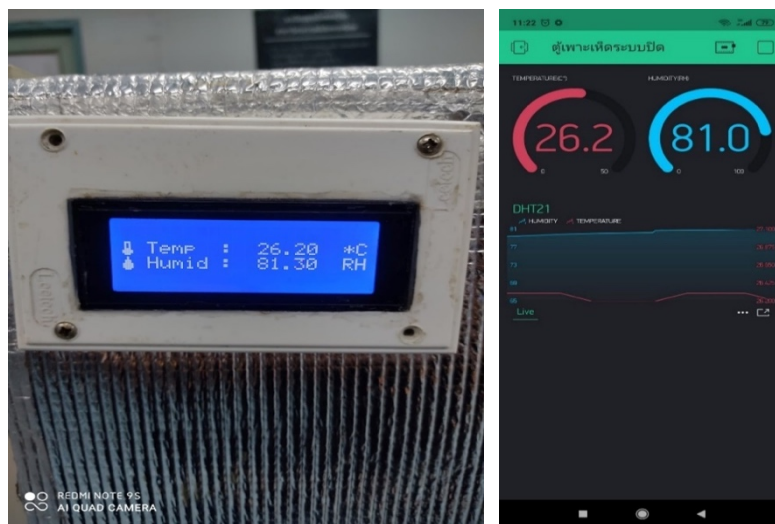
จากตารางคำนวณการคืนทุนจากการเพาะเลี้ยงเห็ดแบบปิด จะเห็นได้ว่า รายได้จากการจำหน่ายผลผลิต 1 ปี จะได้ 162,000 บาท หักต้นทุน 21,220 บาท เหลือ 140,780 บาท เฉลี่ยรายได้เดือนละ 11,730 บาท

การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นระหว่างจอแอลซีดีกับแอปพลิเคชัน

เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นระหว่างจอแอลซีดีกับแอปพลิเคชัน โดยจะเปรียบเทียบในวันและเวลาที่เท่ากัน จำนวน 5 ครั้ง เพื่อแสดงว่าอุณหภูมิความชื้นมีค่าเท่ากัน แสดงดังรูปที่ 15 และ 16



รูปที่ 15 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้น



(ก) จอแสดงผลแอลซีดี

(ข) แอปพลิเคชัน

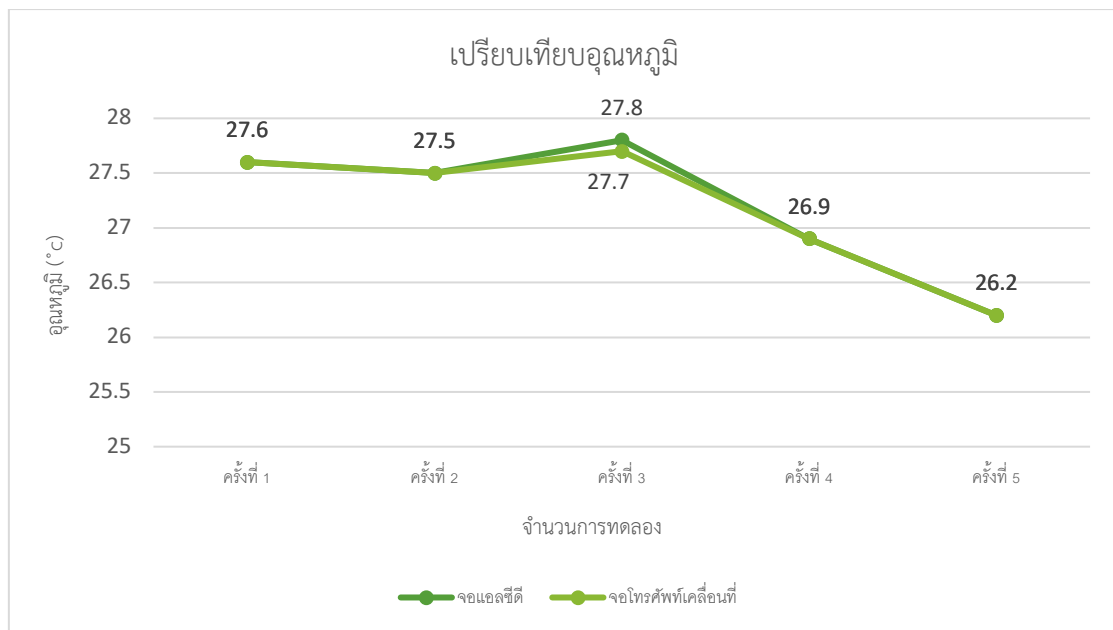
รูปที่ 16 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นบนจอแอลซีดีกับแอปพลิเคชัน

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นระหว่างจอแอลซีดีกับจอโทรศัพท์

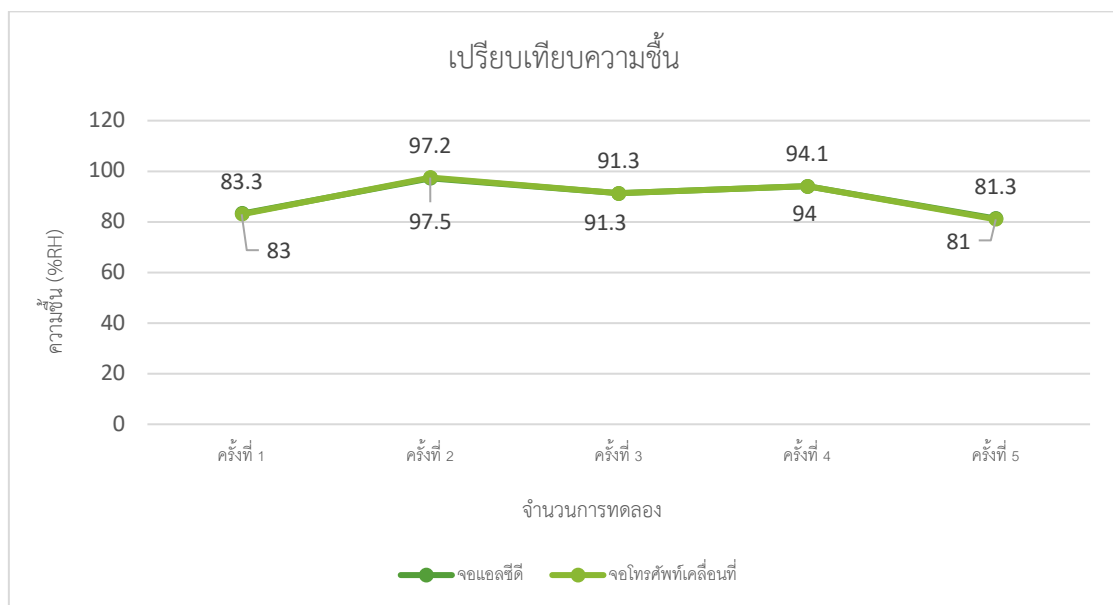
ครั้งที่	วันที่	เวลา	จอแอลซีดี		จอโทรศัพท์เคลื่อนที่	
			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)
1	3 ก.ย.	12:50 น.	27.60	83.30	27.60	83.00
2	4 ก.ย.	10:17 น.	27.50	97.20	27.50	97.50
3	11 ก.ย.	09:18 น.	27.80	91.30	27.70	91.30
4	13 ก.ย.	08:48 น.	26.90	94.10	26.90	94.00
5	7 ต.ค.	11:22 น.	26.20	81.30	26.20	81.00

*ทดลองเมื่อ พ.ศ. 2564

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 3 ไปพร้อมกราฟเพื่อแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นระหว่างจ่อแอลซีดีกับจ่อโทรศัพท์จำนวน 5 ครั้ง โดยจะแสดงกราฟ ดังรูปที่ 17 และ 18



รูปที่ 17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างจ่อแอลซีดีกับโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นระหว่างจ่อแอลซีดีกับโทรศัพท์เคลื่อนที่

จากกราฟการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 17 และ 18 เป็นการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นระหว่างจ่อแอลซีดีกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นระหว่าง จ่อแอลซีดีกับจ่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ นั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันมากโดยจะมีความผิดพลาดเพียงจุดทศนิยมเล็กน้อยเท่านั้น

บทสรุป

จากผลการทดลองเพาะเห็ดนางรมฮังการีซึ่งการวิเคราะห์กราฟการทดลองเพาะเห็ดนางรมฮังการีเป็นระยะเวลา 31 วัน โดยประมาณ ซึ่งได้ทำการเก็บเห็ดทุกวัน จะเห็นว่าการเพาะเห็ดนางรมฮังการีภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด จะได้น้ำหนักของเห็ดที่มากกว่า การเพาะเห็ดแบบทั่วไป โดยที่ทั้งสองแบบ มีก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 300 ก้อนเท่ากัน จากผลการทดลองเพาะเห็ดเห็ดนางรมฮังการีซึ่งการวิเคราะห์จากกราฟการทดลองเพาะเห็ดนางรมฮังการีภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด เป็นระยะเวลา 20 วัน โดยประมาณ ซึ่งได้ทำการเก็บเห็ดมาชั่งน้ำหนักทุกวัน จะเห็นว่า ในวันที่ 17 สิงหาคม 63 น้ำหนักของเห็ดมีมากกว่าวันอื่น เพราะเชื้อเห็ดแต่ละก้อนเป็นรอบแรกที่ย่อยดอกและมีจำนวนหลายก้อนที่ออกพร้อมกัน เหมือนกราฟภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า ช่วงเดือนเมษายน มีปริมาณน้ำหนักของเห็ดสูง เนื่องจากเป็นครั้งแรกของการออกดอกเห็ดหลังจากที่เชื้อเห็ดเดินเต็มที่จะมีผลให้ปริมาณน้ำหนักเห็ดในช่วงแรกที่เกิดมามีปริมาณน้ำหนักสูงและจากการวิเคราะห์กราฟการทดลองเพาะเห็ดนางรมฮังการีเป็นระยะเวลา 25 วัน โดยประมาณ ซึ่งได้ทำการเก็บเห็ดทุกวัน จะเห็นว่าการเพาะเห็ดนางรมฮังการีภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิด จะได้น้ำหนักของเห็ดที่มากกว่า การเพาะเห็ดแบบทั่วไป โดยที่ทั้งสองแบบ มีก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 50 ก้อนเท่ากัน จากภาพที่ 13 จะเห็นได้ว่าขนาดของเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิดมีขนาดประมาณ 8.6 เซนติเมตร และขนาดของเห็ดนอกตู้เพาะเห็ดมีขนาดประมาณ 6.7 เซนติเมตร ดังนั้นการเพาะเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิดจะได้ดอกที่มีขนาดใหญ่กว่าการเพาะเห็ดแบบทั่วไปและจากภาพที่ 14 จะเห็นได้ว่าเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิดมีสีที่ขาวกว่า เห็ดที่เพาะแบบทั่วไป ดังนั้นการเพาะเห็ดภายในตู้เพาะเห็ดระบบปิดจะได้ดอกที่มีสีที่ขาวกว่าการเพาะเห็ดแบบทั่วไป จากการนำแอปพลิเคชันมาใช้ในการควบคุมการเพาะเลี้ยงเห็ดจะเห็นได้ว่าจากกราฟการทดลองที่แสดงดังภาพที่ 17 และ 18 เป็นการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นระหว่างจอยแอลซีดีกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นระหว่าง จอยแอลซีดีกับจอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ นั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันมากโดยจะมีความผิดพลาดเพียงจุดทศนิยมเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการควบคุมการทำงานของโรงเพาะเห็ดผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีความแม่นยำมาก สามารถควบคุมการเพาะเห็ดได้ง่ายอยู่ที่ไหนก็สามารถดูแลโรงเรือนเพาะเห็ดได้อย่างสะดวกเหมาะสมสำหรับผู้ว่างงานหรือผู้ต้องการหาอาชีพเสริม ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมแบบปิดสำหรับตู้เพาะเห็ดที่เหมาะสมสำหรับเกษตรกรหรือคนที่ไม่มีเวลาดูแลมาก เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนให้มีอุณหภูมิและความชื้นตามต้องการ โดยมีการใช้การควบคุมอุณหภูมิและควบคุมความชื้น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงเห็ด เพื่อให้เห็ดที่ได้มีสภาพสมบูรณ์ ปลอดภัยและโรคที่เกิดจากแมลง ซึ่งจะทำให้ได้เห็ดน้ำหนักดีขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้นต่อเดือน ซึ่งเป็นอาชีพที่เหมาะสมกับในสถานการณ์โควิด 19

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดินของเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ประจำปีงบประมาณ 2564 ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทดลองในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

- ชลธิชา โคประโคน. (2559). การศึกษาการลงทุนเพาะเห็ดนางฟ้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ธีรยศ เวียงทอง และประยูร จวงจันทร์. (2554). ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนแบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- บุญยัง สิงห์เจริญ และสันติ สาแก้ว. (2559). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ด. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1. หน้า 176-183.
- มงคล พึ่งชนะกุล. (2555). การลดอุณหภูมิภายในอาคารโดยใช้การทำความเย็นแบบระเหย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภูมินทร์ ต้นอุฒม์, ภัทรพงศ์ คุณเมือง, ธนากร วงษ์ศา และธนสิทธิ์ นิตยะประภา. (2562). การพัฒนาตู้อนุบาลกล้วยไข่ กำแพงเพชรโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. 11(14): 25-39.
- วีรศักดิ์ ฟองเงิน, สุรพงษ์ เพ็ชรหาญ และรัฐสิทธิ์ ยะจ่อ. (2561) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม. 5(1): 172-182.
- อรพรรณ แซ่ตั้ง, นิสา พุทธนาวงศ์ และณัฐพล ธนเชวงสกุล. (2560). การออกแบบโรงเรือนสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อส่งเสริมการเพาะเลี้ยงเห็ดแคร้ง. วารสารการอาชีวและเทคนิคศึกษา. 7(13): 87-97.
- Maheswari R., Ashok K.R. and Prahadee S.M. (2008). Precision farming technology, adoption decisions and productivity of vegetables in resource-poor environments. Agricultural Economics Research Review. 21: 415-424.
- Shashwathi N., Priyam B. And Suhas K. (2012). Smart farming: A step towards techno-savvy agriculture. International Journal of Computer Applications. 57(18): 45-48.

Received: May 30, 2023; Revised: June 29, 2023; Accepted: July 10, 2023

เครื่องกดเส้นห้ามเลือดระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า

Electric pneumatic hemostatic machine press system

รณยุทธ นนท์พละ¹ กิตติวัฒน์ จีบแก้ว^{1*} และเกียรติพงศ์ ไชยตะมาตย์¹Ronnayut Nonpala¹, Kittiwath Jeebkaew^{1*} and Kiattipong Chaitamat¹¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร¹Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province

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

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือ ที่จะช่วยสนับสนุนบุคลากรทางการแพทย์ ที่ทำการกดเส้นเพื่อห้ามเลือดหลังถอดเข็มสวนออกจากหลอดเลือด โดยนำระบบนิวเมติกส์เข้ามาช่วยแทนบุคลากรในการกดเส้นห้ามเลือด หลังจากสร้างเครื่องได้ทำการหาคุณภาพของเครื่องกดเส้นเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า โดยการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 5 ท่านและประเมินจากการทดลองใช้งานกับกลุ่มอาสาสมัคร ทั้งหมด 20 ท่าน หลังจากการเข้าทำการทดสอบกับเครื่อง มีผลวิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าจากผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยจาก 4.28 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.50 อยู่ในเกณฑ์ระดับประเมินดี ความคิดเห็นตามหลักทางวิศวกรรมและหลักทางการแพทย์สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ผลที่เกิดต่อร่างกายของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบ อาสาสมัครทั้งหมด 20 ท่าน มีค่า O_2sat ค่าชีพจรและอาการอ่อนแรงในระดับปกติ มีอาการเป็นแผล 2 ท่าน มีอาการปวดขา 10 ท่าน มีอาการขาชาเล็กน้อยทุกท่าน มีอาการขาชืดทุกคนแต่ไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตราย มีอาการเจ็บปวดที่จุดกดเล็กน้อยถือว่าอยู่ในระดับที่รับได้และแรงกดของเครื่องอยู่ในระดับที่สามารถห้ามเลือดหลังถอดเข็มสวนออกจากหลอดเลือดได้

คำสำคัญ: เครื่องกด ห้ามเลือด นิวเมติกส์ไฟฟ้า

Abstract

The purposes of the present research study, the electric pneumatic compression device for stopping bleeding, are to design and create the devices supporting medical workers who stop bleeding after removing needles from blood vessels by using the pneumatic system in order to replace the workers who stop bleeding. After creating the device, the qualities of the electric pneumatic compression device for pressing the blood vessels were evaluated by five experts and testing the device with 20 volunteers. After testing the device, the data analysis results from evaluating the electric pneumatic compression device for pressing

blood vessels by the experts showed that the mean was 4.28. The standard deviation was 0.50. This was good according to the evaluation criteria. The opinions according to the engineering and medical principles indicate the applications of the device. According to the effects on the bodies of the 20 volunteers; the O₂ sat values, pulses and weaknesses were normal. Two of the volunteers had wounds. Ten of them had leg pains. All of them had slight numbness. All of them had pale legs, but the symptoms were not severe. There were mild pains at the pressed areas. This was at the acceptable level and the pressure of the device was at the level that could stop bleeding after removing the needles from the blood vessels.

Keywords: Machine press, Hemostatic, Electric pneumatic

บทนำ

ภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดเฉียบพลัน เป็นภาวะวิกฤตและอันตรายรุนแรงถึงชีวิต เป็นปัญหาสำคัญของสาธารณสุขโลกและสาธารณสุขไทย จากรายงานสถิติการเสียชีวิตขององค์การอนามัยโลก ในปี พ.ศ. 2563 พบว่า สาเหตุอันดับ 1 ที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตคือกลุ่มโรคหัวใจและหลอดเลือด ประมาณ 17.9 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 16.201 (ทิพย์สุตา และจินตนา, 2564) การตรวจวินิจฉัยเพื่อเข้าถึงการรักษาและวินิจฉัยถือเป็นสิ่งสำคัญ ปัจจุบันการตรวจสวนหัวใจโดยการฉีดสีหลอดเลือดหัวใจเป็นหัตถการที่แม่นยำ และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถ บอกถึงตำแหน่ง ขนาดและความรุนแรงของโรคหัวใจขาดเลือดได้อย่างแม่นยำ (จิรภา, 2559) แต่ก็อาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนได้ โดยภาวะแทรกซ้อนทางหลอดเลือดที่พบ ได้แก่ ภาวะก้อนเลือดได้ผิวหนัง ภาวะเลือดออกซ้ำ หลอดเลือดแตกอุดตัน หลอดเลือดโป่งพอง โดยส่วนมากภาวะแทรกซ้อนเหล่านี้พบบ่อยใน 24 ชั่วโมงแรก หลังทำการสวนหัวใจโดยการฉีดสีหลอดเลือดโคโรนารีผ่านทางหลอดเลือดแดง (ลดาวีลย์ และฤทธิ์กล้า, 2562) การสวนหัวใจ (Percutaneous coronary intervention) สามารถทำได้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของหลอดเลือดแดง ได้แก่ หลอดเลือดแดงเรเดียล (Radial artery) หลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery) หลอดเลือดแดงฟีมอรัล (Femoral artery) เป็นต้น แต่ที่นิยมกันในปัจจุบันคือหลอดเลือดแดงเบรเคียลและหลอดเลือดแดงฟีมอรัล ขนาดเข็มที่สวนเข้าไปในหลอดเลือดแดงใหญ่ แบ่งได้ออกเป็นสามขนาดคือ 6 Fr., 7 Fr. และ 8 Fr. ซึ่งภายหลังการสวนหัวใจผ่านหลอดเลือดแดงฟีมอรัล 4-6 ชั่วโมง แพทย์จะนำบล็อกสายสวน (Femoral sheath) ออกจากเส้นเลือดแดงบริเวณขาหนีบ (อัญศิณีย์ และคณะ, 2562) เสร็จแล้วจะทำการกดห้ามเลือดต่อ โดยก่อนหน้านั้นการห้ามเลือดอาศัยใช้วิธีการตามแนวเส้นเลือดแดง ซึ่งเฉื่อยแล้วใช้เวลาประมาณ 10-20 นาที ในการทำให้เลือดหยุดไหล มีกลไกการห้ามเลือดหัตถุญมิ อาจใช้การใส่สายรัดข้อมือที่ใส่ปริมาตรลม 13 มิลลิลิตร เปรียบเสมือนเป็นแรงกดที่มีปริมาตรคงที่ปิดทับตำแหน่งที่เจาะเลือด (พิรญา, 2562) หลังจากนั้นห้ามผู้ป่วยลุกเดินต้องนอนอยู่บนเตียงและใช้หมอนทรายทับกดแผลอีกประมาณ 3 ชั่วโมง หลังจากเอาหมอนทรายออกต้องนอนราบต่ออีก 3 ชั่วโมง จึงจะเปลี่ยนทำได้

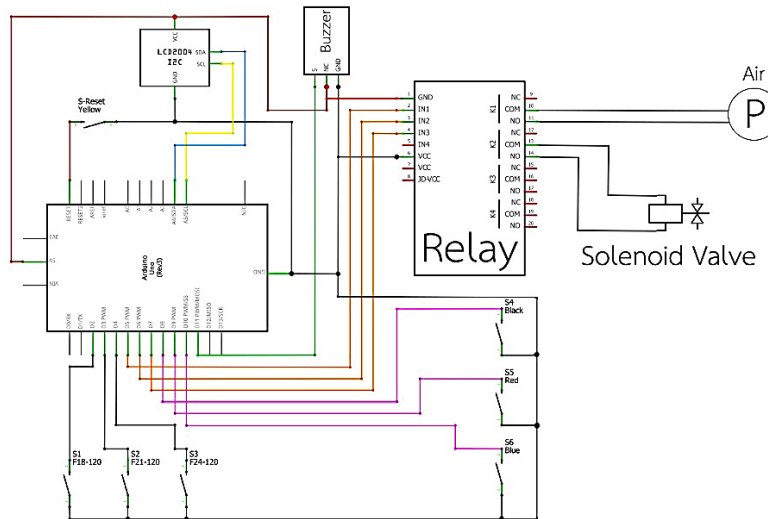
จากการวิเคราะห์ปัญหาพบว่า แพทย์หรือพยาบาลต้องกดห้ามเลือดเป็นเวลา 10-20 นาทีหรือมากกว่า ซึ่งส่งผลให้บุคลากรทางการแพทย์ใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการกดห้ามเลือด หลังนำบล็อกสายสวนออกจากเส้นเลือดแดงบริเวณขาหนีบและไม่สามารถไปทำงานอย่างอื่นได้ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องกดห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่มีขนาดเล็ก (รุจิพรรณ และคณะ, 2566) โดยมีอุปกรณ์ 2 ส่วนคือ ส่วนที่กดเส้นเลือดระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าและส่วนที่ควบคุมอัตโนมัติ สามารถปรับตั้งตามขนาดของเข็มได้ เพื่อช่วยในการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ในการกดห้ามเลือดภายหลังนำบล็อกสายสวน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การออกแบบและสร้างเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวมติกส์ไฟฟ้า

1. การออกแบบกล่องระบบควบคุมของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวมติกส์ไฟฟ้า

1.1 ระบบควบคุมเป็นหัวใจหลักของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวมติกส์ไฟฟ้า ภายในประกอบด้วยชุดคำสั่งเชื่อมต่อวงจรไปยังอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบนิวมติกส์เพื่อควบคุมการเพิ่มหรือปล่อยลมออกจากระบบ เช่น ปัมลมโซลินอยด์ ทำงานด้วยการกดสวิทช์ แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรไฟฟ้าภายในกล่องระบบควบคุม

จากรูปที่ 1 วงจรควบคุมประกอบด้วยส่วนประมวลผล Arduino มีอินพุตเป็นสวิทช์ปุ่มกด 7 อินพุต ส่วนเอาต์พุตต่อเข้ากับรีเลย์เพื่อสั่งการทำงานของปั๊มลมและวาล์วเปิดปิดลม มีตัวส่งสัญญาณเสียงและจอแสดงผลแอลซีดี

1.2 ชุดคำสั่ง

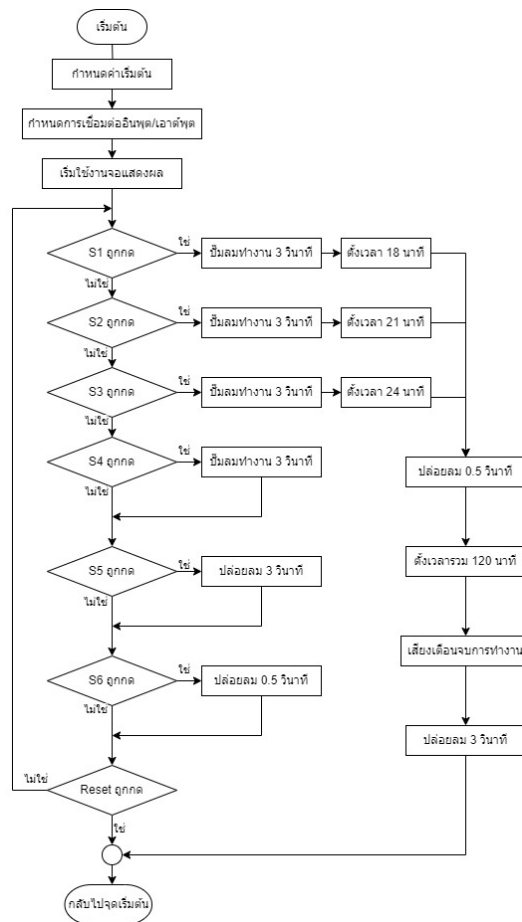
1.2.1 การสั่งงานให้ระบบนิวมติกส์ทำงานเพื่อกีดเส้นห้ามเลือด ในการเขียนชุดคำสั่งนี้จะต้องออกแบบออกมาทั้งหมด 3 การทำงาน ตามข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาโดยคนไข้แต่ละท่านจะมีเวลาในการกีดเส้นห้ามเลือดที่แตกต่างกันตามขนาดเข็มที่สวนเข้าไปในหลอดเลือดแดงใหญ่ แบ่งได้ออกเป็น 3 ขนาดคือ 6 Fr, 7 Fr และ 8 Fr. แต่ละขนาดจะใช้ระยะเวลาในการกีดเส้นห้ามเลือดคูณด้วย 3 เท่าของขนาดเข็ม แล้วกำหนดชื่อให้ทั้ง 3 การทำงานที่มีขนาดต่างกัน ดังนี้

ขนาด 6 Fr. กำหนดให้เป็น F 18-120 ที่สั่งการด้วยปุ่มกดสีเขียว (S1)

ขนาด 7 Fr. กำหนดให้เป็น F 21-120 ที่สั่งการด้วยปุ่มกดสีเขียว (S2)

ขนาด 8 Fr. กำหนดให้เป็น F 24-120 ที่สั่งการด้วยปุ่มกดสีเขียว (S3)

หลักการทำงานของคำสั่งให้ระบบนิวมติกส์ทำงานเพื่อกีดเส้นห้ามเลือด เมื่อทำการกดคำสั่ง จะสั่งให้รีเลย์จ่ายไฟไปยังวงจรที่ต่อกับปั๊มลมให้ทำงานเพื่อทำการอัดลมเข้าสู่ระบบนิวมติกส์ทำการดันก้านกระบอกสูบเคลื่อนที่ออกกีดไปยังจุดที่เราทำการกีดเส้นห้ามเลือด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังการทำงานของชุดคำสั่ง

1.2.2 คำสั่งที่ทำการเพิ่มลมเข้าสู่ระบบนิวเมติกส์ เนื่องอาจเกิดเหตุการณ์ที่แรงดันอากาศในระบบนิวเมติกส์ไม่เพียงพอต่อการกด เพื่อการนั้นจึงได้เขียนคำสั่งอัดอากาศเข้าสู่ระบบนิวเมติกส์ กำหนดให้สั่งการด้วยปุ่มกดสีดำ (S4) หลักการทำงานของคำสั่งที่ทำการเพิ่มลมเข้าสู่ระบบนิวเมติกส์ เมื่อทำการกดคำสั่ง (ปุ่มกดสีดำ) จะสั่งให้รีเลย์จ่ายไฟไปยังวงจรที่ต่อกับปั๊มลมให้ทำงานเพื่อทำการเพิ่มความดันในระบบนิวเมติกส์ให้เพียงพอต่อการกด

1.2.3 คำสั่งที่ทำการปล่อยลมออกจากระบบนิวเมติกส์ เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินที่ต้องหยุดการกดเส้นห้ามเลือดหรือความดันในระบบนิวเมติกส์มีมากเกินไป โดยการปล่อยลมออกจากระบบนิวเมติกส์จะแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ การปล่อยลมออกจากระบบทั้งหมดและการปล่อยลมออกจากระบบเล็กน้อย การปล่อยลมออกจากระบบทั้ง 2 แบบจะมีหลักการที่เหมือนกัน แตกต่างที่ระยะเวลาการทำงานของโซลินอยด์ที่จะให้ลมออกจากระบบนิวเมติกส์เท่าใด กำหนดปุ่มกดให้ทั้ง 2 แบบ ดังนี้

การปล่อยลมออกจากระบบทั้งหมด กำหนดให้สั่งใช้งานด้วยปุ่มกดสีแดง (S5)

การปล่อยลมออกจากระบบเล็กน้อย กำหนดให้สั่งใช้งานด้วยปุ่มกดสีฟ้า (S6)

หลักการทำงานของคำสั่งที่ทำการปล่อยลมออกจากระบบนิวเมติกส์ เมื่อทำการกดคำสั่ง Arduino จะสั่งให้รีเลย์จ่ายไฟไปยังวงจรที่ต่อกับโซลินอยด์ให้ทำงาน โดยเปิดช่องปล่อยลมออกจากระบบนิวเมติกส์ เมื่อครบระยะของแต่ละคำสั่งโซลินอยด์จะปิดช่องปล่อยลม

1.2.4 คำสั่งรีเซ็ตระบบ เป็นคำสั่งจะยกเลิกการทำงานของคำสั่งทั้งหมดที่กำลังทำงานอยู่หรือเมื่อเกิดความผิดพลาด ให้อยู่ในสถานะเตรียมพร้อมการทำงาน กำหนดให้สั่งการด้วยปุ่มกดสีเหลือง (Reset)

หลักการทำงานของคำสั่งรีเซ็ตระบบ เมื่อทำการกดคำสั่ง (ปุ่มกดสีเหลือง) ที่ปุ่มกดเชื่อมต่อวงจรเข้ากับขา Reset ระบบจะทำการรีเซ็ตตัวเองเข้าสู่การเตรียมพร้อมการทำงาน

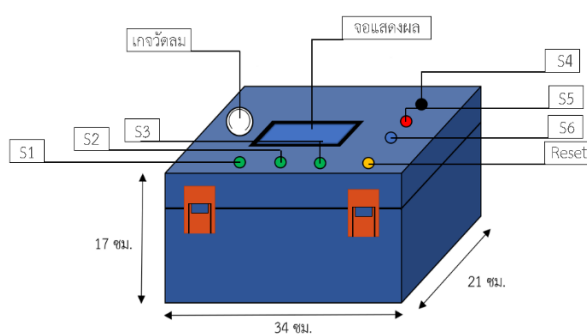
1.3 การทำงานอัตโนมัติ

1.3.1 การจับเวลาเมื่อทำการกดเส้นห้ามเลือด ในการกดเส้นห้ามเลือดจะมีระยะเวลาของการกดเส้นห้ามเลือดเพื่อให้ทราบว่ามีการกดเส้นห้ามเลือดใช้เวลาผ่านไปเท่าใด จำเป็นต้องมีการจับเวลาแล้วแสดงให้เห็น โดยการจับเวลาจะเริ่มทำงานเมื่อทำการกดคำสั่งให้ระบบนิวมิตส์ทำงานเพื่อกดเส้นห้ามเลือด การจับเวลาก็จะขึ้นอยู่กับที่เลือกกดด้วยเช่นกัน

1.3.2 เสียงแจ้งเตือน เมื่อการจับเวลาทำงานแล้วครบระยะแต่ละช่วงที่เลือก เสียงแจ้งเตือนก็จะดังขึ้นมา

1.4 กล่องระบบควบคุม

ในการวิจัยเครื่องมือที่ออกแบบมาใช้สำหรับมนุษย์ จำเป็นต้องทำการศึกษาข้อมูลจากหลายด้านเพื่อนำมาประกอบใช้ในการออกแบบให้มีความเหมาะสม ทั้งข้อมูลทางวิศวกรรมและทางการแพทย์ แสดงดังรูปที่ 3



(ก) แบบกล่องระบบควบคุม



(ข) กล่องระบบควบคุม

รูปที่ 3 การออกแบบและกล่องระบบควบคุม

1.4.1 ปุ่มกดสีเขียว (S1) คำสั่งให้ระบบนิวมิตส์ทำงานเพื่อกดเส้นห้ามเลือด F 18-120 คือ การทำงานแบบที่ 1 โดยแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วง คือ 18 นาที และ 120 นาทีช่วง 18 นาที ระบบทำการปั๊มลมเข้าสู่ระบบนิวมิตส์ 3 วินาที เพื่อทำการดันก้านกระบอกสูบนิวมิตส์ด้วยแรง 2.5-2.6 บาร์ เมื่อครบ 18 นาที ระบบจะทำการเข้าสู่ช่วง 120 นาที โดยจะปล่อยลมออกเหลือ 0.1 บาร์ เพียงพอต่อการกดค้ำ

1.4.2 ปุ่มกดสีเขียว (S2) คำสั่งให้ระบบนิวมิตส์ทำงานเพื่อกดเส้นห้ามเลือด F 21-120 คือ การทำงานแบบที่ 2 โดยแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วง คือ 21 นาที และ 120 นาทีช่วง 18 นาที ระบบทำการปั๊มลมเข้าสู่ระบบนิวมิตส์ 3 วินาที เพื่อทำการดันก้านกระบอกสูบนิวมิตส์ด้วยแรง 2.5-2.6 บาร์ เมื่อครบ 21 นาที ระบบจะทำการเข้าสู่ช่วง 120 นาที โดยจะปล่อยลมออกเหลือ 0.1 บาร์ เพียงพอต่อการกดค้ำ

1.4.3 ปุ่มกดสีเขียว (S3) คำสั่งให้ระบบนิวมิตส์ทำงานเพื่อกดเส้นห้ามเลือด F 24-120 คือ การทำงานแบบที่ 3 โดยแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วง คือ 24 นาที และ 120 นาทีช่วง 18 นาที ระบบทำการปั๊มลมเข้าสู่ระบบนิวมิตส์ 3 วินาที เพื่อทำการดันก้านกระบอกสูบนิวมิตส์ด้วยแรง 2.5-2.6 บาร์ เมื่อครบ 24 นาที ระบบจะทำการเข้าสู่ช่วง 120 นาที โดยจะปล่อยลมออกเหลือ 0.1 บาร์ เพียงพอต่อการกดค้ำ

1.4.4 ปุ่มกดสีดำ (S4) คำสั่งที่ทำการเพิ่มลมเข้าสู่ระบบนิวมิตส์ คือ การสั่งให้ระบบทำการปั๊มลมเข้าสู่ระบบนิวมิตส์

1.4.5 ปุ่มกดสีแดง (S5) คำสั่งที่ทำการปล่อยลมออกจากระบบนิวมิตส์ทั้งหมด คือ การสั่งให้ระบบทำการปล่อยลมออกจากระบบนิวมิตส์ทั้งหมด

1.4.6 ปุ่มกดสีฟ้า (S6) คำสั่งที่ทำการปล่อยลมออกจากระบบนิวเมติกส์เล็กน้อย คือ การสั่งให้ระบบทำการปล่อยลมออกจากระบบนิวเมติกส์เล็กน้อย

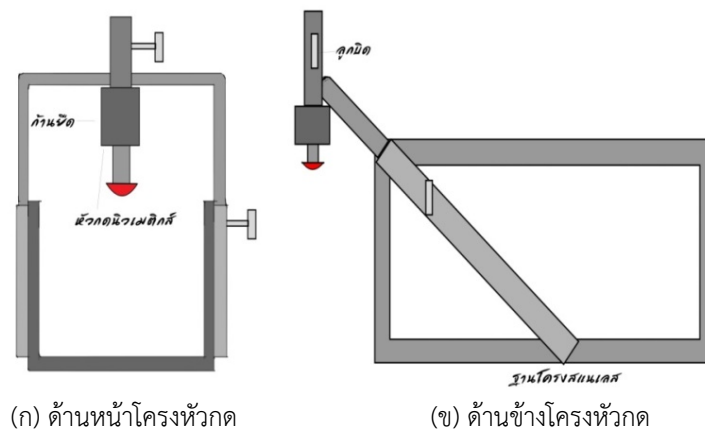
1.4.7 ปุ่มกดสีเหลือง (Reset) คำสั่งรีเซ็ตระบบ คือ การสั่งให้ระบบทำการรีเซ็ตตัวเอง

1.4.8 หน้าจอแสดงการจับเวลาของการกดเส้นห้ามเลือด

1.4.9 เภจวัดบอกค่าความดันระบบนิวเมติกส์

2. การออกแบบโครงหัดกดนิวเมติกส์ของเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า

การกดเส้นห้ามเลือดต้องทำการกดอยู่เหนือจุดที่ทำการถอดเข็มออกมา เพื่อให้นิวเมติกส์สามารถทำการกดเส้นห้ามเลือดได้ ต้องมีโครงหัดกดนิวเมติกส์เป็นวัสดุทึบแสงแบบนิ้วหัวแม่มือเพื่อลดอาการเจ็บปวดขณะกด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 20 มิลลิเมตร ทำให้สามารถเล็งได้ตรงเส้นเลือด นำเข้ามาประกอบกดลงได้มิดชิด เพื่อไม่ให้จุดที่กดลงไปเกิดการเคลื่อนที่เพราะการขยับของผู้สวม ต้องทำการยึดส่วนขาให้มั่นคงกับโครงหัดกดนิวเมติกส์ ดังนั้นจะมีสายรัดที่เข้ามาช่วยให้เกิดการเคลื่อนจุดกดให้น้อยที่สุด แต่เนื่องจากโครงหัดกดนิวเมติกส์ต้องนำมาใช้กับมนุษย์ซึ่งมีความหลากหลายจำเป็นต้องออกแบบให้สามารถใช้งานได้กับทุกขนาดเพื่อความสะดวก แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ภาพแนวความคิดการออกแบบโครงหัดกดนิวเมติกส์

การเลือกวัสดุนำมาทำโครงสร้างและหัวกด ใช้สแตนเลสเกรด 316 ซึ่งมีคุณสมบัติด้านความสะอาดและสุขอนามัย (ภาณุเมศวร์ และคณะ, 2563) เหมาะแก่การนำมาใช้ทำเวชภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารและยา ตัวกระบอกสูบนิวเมติกส์ต้องเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและความแข็งแรงตัว แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงหัดกดนิวเมติกส์

วิธีการหาคุณภาพเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า

1. การทดลองหาคุณภาพของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าด้วยผู้เชี่ยวชาญ

เพื่อความน่าเชื่อถือของการหาคุณภาพของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ต้องมีการทดลองหาคุณภาพด้วยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในด้านการแพทย์ เพื่อหาความเหมาะสมของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือด

2. การทดลองหาคุณภาพของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าด้วยกลุ่มอาสาสมัคร

การหาคุณภาพของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า โดยการทำการทดลองกับอาสาสมัคร 20 ท่าน เพื่อหาความพึงพอใจของอาสาสมัครที่มีต่อเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าและการแสดงอาการของอาสาสมัครในขณะทำการกีด กลุ่มอาสาสมัครที่เข้าร่วมรวมการทดลองจะมีความแตกต่าง ทางเพศ ร่างกาย ช่วงอายุ และโรคประจำตัว

เครื่องมือในการทำงานวิจัย

1. แบบประเมินในการเก็บข้อมูลหาคุณภาพของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า

การหาคุณภาพของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าโดยแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วนคือ

1.1 การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ใช้งาน ที่ทำการใช้งานเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ผู้ประเมินจะเป็นบุคลากรทางการแพทย์เพื่อลงความเห็น ว่า เครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าสามารถใช้งานตรงเงื่อนไขได้จริง

1.2 การประเมินจากอาสาสมัคร ที่ทดลองกับเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้นให้อาสาสมัครทำการกรอกแบบประเมินตามความรู้สึกที่มีต่อ เครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า และอาการหรือผลข้างเคียงที่เกิดกับร่างกาย 1) $O_2\text{sat}$ หมายถึง ความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือด 2) ซิฟเฟอร์ที่ปลายเท้าข้างขวาของอาสาสมัครที่ทำการกีดเส้นห้ามเลือด 3) อาการปวดระหว่างการทดสอบที่ขาขวา 4) อาการชาขาที่เกิดจากการที่เลือดไปเลี้ยง 5) อาการอ่อนแรงที่เกิดจากการที่เลือดไปเลี้ยงขาขวาไม่เพียงพอ 6) อาการชาขาซิดที่เกิดจากการที่เลือดไปเลี้ยงส่วนเท้าขวาไม่เพียงพอ 7) ผลจุดกีดเส้นห้ามเลือดที่เกิดขึ้นรอบจุดกีด 8) อาการปวดจุดกีด ประเมินอาการทำโดยพยาบาลวิชาชีพ

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ

เครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ควบคุมการทำงานของปั๊มลมที่จ่ายลมเข้าสู่กระบอกลมนิวเมติกส์และยังสามารถกำหนดแรงกีดเส้นห้ามเลือดตามที่บุคลากรทางการแพทย์ต้องการได้ โดยมีการทดสอบและประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การประเมินผู้เชี่ยวชาญ ณ ศูนย์โรคหัวใจ โรงพยาบาลสกลนคร

หลังจากติดตั้งเครื่องและวางหัวกดให้ตรงกับเส้นเลือดแดงพีมอรัล แล้วใช้เครื่องกดโดยไม่สามารถคลำชีพจรได้ใน 1 นาทีแรกใช้กด 2.6 bar โดยมีพยาบาลคอยสังเกตอาการจับออกซิเจนปลายนิ้วเท้าบริเวณนิ้วหัวแม่เท้าหรือนิ้วชี้เพื่อประเมินการไหลเวียนเลือด จากนั้นนาที่ที่ 2 ถึงนาที่ที่ 18, 21 และ 24 ใช้คำนวณระยะเวลาการกดจากขนาดปลอกสายสวนคูณด้วย 3 และกดต่ออีก 60-120 นาที กดด้วยแรง 70 mmHg ภายใต้เงื่อนไขการตรวจวัดการแข็งตัวของเลือด (Activated clotting time < 170) บริเวณที่มีแรงกดมากกว่า 70 mmHg 1-2 ชั่วโมง ติดต่อกันจะทำให้เกิดการขาดเลือดขึ้น (จิตติวร่า, 2559) ซึ่งเครื่องนิวตริกรรมกดห้ามเลือด ทำให้ลดระยะเวลาในการดูแลผู้ป่วยและยังสามารถไปดูแลผู้ป่วยรายอื่น โดยไม่ต้องเสียเวลากับการกดห้ามเลือดหลังการหลังนำปลอกสายสวน ออกจากเส้นเลือดแดงบริเวณขาหนีบ โดยใช้แบบประเมินการปฏิบัติเป็นเครื่องมือที่ใช้ประกอบการประเมินการให้ปฏิบัติจริงและแบบบันทึกผลการปฏิบัติตลอดกระบวนการ (จิตติรัตน์, 2558) ผลวิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินมีค่าเฉลี่ยจากการเลือกตอบแบบประเมินในทุกรายการคือ 4.28 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.50 อยู่ในเกณฑ์ระดับประเมินดี ร้อยละของความคิดเห็นด้วยจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มีค่าเฉลี่ยที่ 96% ถือว่า เครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้ามีคุณสมบัติตามหลักทางวิศวกรรมและหลักทางการแพทย์ สามารถนำไปใช้งานจริงได้

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัคร

จากแบบประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครต่อการวิจัยเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ที่มีอาสาสมัครเข้าร่วมทำการทดลองกับเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ทั้งหมด จำนวน 20 ท่าน ดังรูปที่ 7 หลังจากการทดลองคณะผู้วิจัยจะให้อาสาสมัครทำแบบประเมินหลังการทดลอง แล้วได้นำข้อมูลจากแบบประเมินในส่วนตอนที่สอง ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ในการทดสอบเครื่อง ด้านความปลอดภัย และด้านผลต่อร่างกาย มาทำการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยบอกระดับของเกณฑ์ระดับประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับของลิเคิร์ต (Likert scale) มีพยาบาลเตรียมพร้อมดูแลเมื่อเกิดอันตรายต่ออาสาสมัคร



รูปที่ 7 การทดสอบกับอาสาสมัคร

การหาคุณภาพของเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าระหว่างทำการทดสอบโดยมีอาสาสมัครเข้าร่วมทั้งหมด 20 ท่าน ได้มีการเก็บผลที่เกิดต่อร่างกายของอาสาสมัคร โดยมีการเก็บค่าข้อมูล ดังนี้

- 1) O₂sat หมายถึง ความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือด
- 2) ชีพจรที่ปลายเท้าข้างขวาของอาสาสมัครที่ทำการกดเส้นห้ามเลือด
- 3) อาการปวดระหว่างการทดสอบที่ขาขวา
- 4) อาการชาขาที่เกิดจากการที่เลือดไปเลี้ยง
- 5) อาการอ่อนแรงที่เกิดจากการที่เลือดไปเลี้ยงขาขวาไม่เพียงพอ
- 6) อาการชาขาซิดที่เกิดจากการที่เลือดไปเลี้ยงส่วนเท้าขวาไม่เพียงพอ
- 7) ผลจุดกดเส้นห้ามเลือดที่เกิดขึ้นรอบจุดกด

8) อาการปวดจุดกด

ประเมินความปวดโดยการวัดระดับความปวดตั้งแต่ 1-10 คะแนนนั้น ผู้ป่วยสามารถประเมินอาการปวด ได้ตามอาการ ความรุนแรงและคำนวณค่าคะแนนได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบของอาสาสมัคร

อาสาสมัคร คนที่	อาการ						จุดกด	
	O ₂ Sat	ชีพจร	ปวด	ชา	อ่อนแรง	ซีด	แผล	ปวด
1	100.00	77.00	0.00	0.56	0.00	0.33	0.00	0.44
2	96.89	70.78	0.00	1.00	0.00	0.67	0.44	3.89
3	100.00	67.89	0.00	0.78	0.00	0.56	0.00	5.33
4	100.00	67.78	0.00	0.89	0.00	0.67	0.00	0.22
5	100.00	65.78	0.00	0.89	0.00	0.67	0.00	3.67
6	100.00	91.11	0.00	1.22	0.00	0.56	0.00	0.89
7	100.00	79.89	0.00	0.22	0.00	0.67	0.00	0.00
8	100.00	79.89	0.00	0.22	0.00	0.67	0.00	0.00
9	100.00	84.11	0.00	0.56	0.00	0.67	0.00	1.56
10	100.00	86.33	0.00	1.78	0.00	1.56	0.67	1.00
11	99.33	77.00	0.33	0.78	0.00	0.11	0.00	0.11
12	98.78	95.67	1.56	1.56	0.00	1.22	0.00	1.11
13	98.33	83.00	0.33	0.78	0.00	0.67	0.00	0.33
14	100.00	76.00	0.33	0.89	0.00	1.00	0.00	0.33
15	99.78	81.78	0.22	0.67	0.00	0.33	0.00	0.44
16	99.44	97.44	0.22	0.78	0.00	0.56	0.00	0.44
17	99.33	72.00	0.22	0.67	0.00	1.11	0.00	0.44
18	100.00	71.44	0.22	0.78	0.00	1.33	0.00	0.44
19	100.00	95.44	0.11	1.33	0.00	0.89	0.00	0.67
20	100.00	68.00	0.44	1.00	0.00	0.78	0.00	0.56
เฉลี่ย	99.59	79.42	0.20	0.87	0.00	0.75	0.06	1.09

หมายเหตุ: การวัดค่า O₂Sat, ชีพจรและประเมินอาการทำโดยพยาบาลวิชาชีพ

จากตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลผลต่อร่างกายของอาสาสมัครทั้งหมด 20 ท่าน โดยนำข้อมูลแต่ละท่านในช่วงเวลาที่ทำ การทดสอบมาเฉลี่ยผลแล้วจากผลการวิเคราะห์พบว่า รายการที่ 1 ค่า O₂sat ระหว่างการทดสอบ พบว่า อาสาสมัครทุกท่านมี ค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติไม่ต่ำกว่า 95 และไม่สูงเกิน 100 โดยมีค่าต่ำสุดที่ 96.89 และมีค่าสูงสุด 100 รายการที่ 2 ค่าชีพจร ระหว่างการทดสอบ พบว่า อาสาสมัครทุกท่านมีชีพจรอยู่ในเกณฑ์ปกติอยู่ระหว่าง 60-100 โดยมีอาสาสมัครที่มีชีพจรต่ำสุด 65.78 และมีชีพจรสูงสุด 97.49 รายการที่ 3 อาการปวดระหว่างการทดสอบที่ขาขวา โดยแบ่งระดับอาการออกเป็น 10 ระดับ ในการเก็บผลในรายการที่ 3 พบว่า มีอาสาสมัครไม่รู้สึกรู้สึกถึงอาการปวดระหว่างการทดสอบที่ขาขวาจำนวน 10 ท่าน การให้ ระดับความรู้สึกเจ็บอยู่ที่ 0 และมีอาสาสมัคร 1 ท่านที่ให้ระดับความรู้สึกเจ็บเกิน 1 ระดับ โดยให้ค่าอยู่ในระดับ 1.56 รายการ

ที่ 4 อาการขาแบ่งระดับอาการออกเป็น 10 ระดับ พบว่า มีอาสาสมัครมีอาการขาอยู่ในระดับไม่เกิน 1 ทั้งหมด 14 ท่าน โดยมีค่าระดับอาการต่ำสุดที่ 0.22 และมีอาการขาอยู่ในระดับเกิน 1 ทั้งหมด 6 ท่าน โดยมีค่าระดับอาการสูงสุดที่ 1.78 รายการที่ 5 อาการอ่อนแรง พบว่าอาสาสมัครทุกท่านไม่มีอาการอ่อนแรงเกิดขึ้นแต่อย่างใด รายการที่ 6 อาการขาชาติดั้งระดับอาการออกเป็น 10 ระดับ พบว่า อาสาสมัครมีอาการขาชืดอยู่ในระดับไม่เกิน 1 ทั้งหมด 15 ท่าน โดยมีค่าระดับอาการต่ำสุดที่ 0.33 และมีอาการขาชืดอยู่ในระดับเกิน 1 ทั้งหมด 5 ท่าน โดยมีค่าระดับอาการมากที่สุดที่ 1.56 รายการที่ 7 ผลจุดกดเส้นห้ามเลือด พบว่า มีอาสาสมัคร 18 ท่าน ไม่เกิดผลรอบจุดกดเส้นห้ามเลือด เนื่องจากการอนุญาตให้อาสาสมัครทำการสวมกางเกงที่มีเนื้อผ้าบางได้ ทำให้ไม่เกิดรอยผลรอบจุดกด แต่มีอาสาสมัคร 2 ท่านที่เกิดผลเพียงเล็กน้อย รายการที่ 8 อาการปวดจุดกด แบ่งระดับอาการออกเป็น 10 ระดับ พบว่า มีอาสาสมัครเกิดอาการปวดบริเวณจุดกดทั้งหมด 18 ท่าน มีค่าระดับอาการต่ำสุดที่ 0.11 และมีค่าระดับอาการมากที่สุดที่ 5.33 แต่มีเพียงอาสาสมัคร 2 ท่าน ที่ไม่รู้สึกรังเกียจระดับอาการปวดที่จุดกด

การอภิปรายผล

เพื่อสนับสนุนการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ ที่ต้องทำการกดเส้นห้ามเลือดหลังจากการถอดเข็มสวนหลอดเลือด คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า เพื่อที่สนับสนุนการทำงาน แล้วทำการหาคุณภาพของเครื่องเพื่อแสดงความน่าเชื่อถือของเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า

จากการออกแบบและได้สร้างเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าจนสำเร็จ โดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ กล่องระบบควบคุม ที่ควบคุมระบบนิวเมติกส์และโครงทวดนิวเมติกส์ ที่ทำการกดเส้นห้ามเลือด ได้มีการหาคุณภาพโดยทำการทดสอบกับอาสาสมัคร 20 ท่าน ที่มีผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ใช้งาน 5 ท่าน แล้วทำการประเมินด้วยแบบประเมินของอาสาสมัครและผู้เชี่ยวชาญ จากการทดสอบพบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับที่ ดี และ จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญร้อยละ 96 คิดเห็นว่าเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า สามารถนำมาใช้งานได้จริง มีคุณสมบัติตามหลักทางการแพทย์

การวิจัยในครั้งนี้ที่นำความรู้ทางวิศวกรรมอย่างระบบนิวเมติกส์ ระบบควบคุม และหลักทางการแพทย์ในการกดเส้นห้ามเลือดที่ได้ประยุกต์จนออกมาเป็นเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ในการหาความน่าเชื่อถือของเครื่อง ไม่เพียงแต่การหาคุณภาพ แต่ได้มีการเก็บผลที่เกิดต่อร่างกายของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบ อาสาทั้งหมด 20 ท่าน มีค่า $O_2\text{sat}$ ค่าชีพจร และ อาการอ่อนแรงในระดับปกติ มีอาการเป็นแผลซ้ำ 2 ท่าน เกิดจากการรองผ่านวามบางเกินไป มีอาการปวดขา 10 ท่าน มีอาการขาชาเล็กน้อยทุกท่าน เนื่องจากแรงกดเริ่มต้นในช่วงเวลา 8 นาทีแรกสูงและจะผ่อนแรงลงหลังจากนั้น ปริมาณออกซิเจนและชีพจรยังคงปกติ มีอาการขาชืดทุกคนแต่ไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตราย มีอาการเจ็บปวดที่จุดกดเล็กน้อยถือว่าอยู่ในระดับที่รับได้ เครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีจุดเด่นคือ สามารถทำงานได้คล้ายกับการกดของบุคลากร คือสามารถผ่อนแรงกดตามเวลาที่กำหนด จะช่วยให้คนไข้ลดความเจ็บปวดและลดเกิดการขาดเลือดได้ แต่ยังมีส่วนที่ต้องปรับปรุงคือขณะเครื่องทำงานคนไข้ต้องไม่ขยับตัวรุนแรงเพราะอาจทำให้หัวกดหลุดจากจุดกดได้ ผลการวิจัยที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องมือกดห้ามเลือดที่ประดิษฐ์ขึ้น (จุฬา-แคลมป์) เพื่อใช้ห้ามเลือดภายหลังการสวนเส้นเลือดหัวใจหรือการขยายเส้นเลือดหัวใจ (วัญญู, 2546) ในการใช้เวลาในการกด พบว่า ทั้งสองวิธีไม่พบภาวะแทรกซ้อนรุนแรงหลังการกดห้ามเลือดที่ขาหนีบ โดยข้อมูลเหล่านี้จะเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการพัฒนาเครื่องกดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าในครั้งถัดไป

บทสรุป

การวิจัยเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ที่มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าแล้วทำการหาคุณภาพ เพื่อนำไปสนับสนุนการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ ในการสร้างเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าเป็นไปตามระยะเวลาที่เรากำหนด

1. ผลการสร้างเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ กล่องระบบควบคุม และ โครงห้วกตนิวเมติกส์ จากการสร้างกล่องระบบควบคุม ที่สั่งการด้วยสวิทช์คำสั่ง ได้แก่ คำสั่งให้ระบบนิวเมติกส์ทำงานเพื่อกีดเส้นห้ามเลือด คำสั่งที่ทำการเพิ่มลมเข้าสู่ระบบนิวเมติกส์ คำสั่งที่ทำการปล่อยลมออกจากระบบนิวเมติกส์ คำสั่งรีเซ็ตระบบ และการสร้างโครงห้วกตนิวเมติกส์ ทำมาจากวัสดุที่มีน้ำหนักเบาอย่างสแตนเลส และยังรองรับน้ำหนักการกดของขาผู้ป่วยได้ คณะผู้วิจัยมีความพึงพอใจอย่างมากกับผลการทำงานของกล่องระบบควบคุมและโครงห้วกตนิวเมติกส์

2. ผลวิเคราะห์ที่ได้จากแบบประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครต่อการวิจัยเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้าและแบบประเมินคุณภาพการทดสอบโดยผู้ใช้งานเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ที่ทำการหาคุณภาพของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า การสรุปผลรวมค่าเฉลี่ยและเกณฑ์ระดับการประเมินของแบบประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครต่อการวิจัยเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ได้ออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครในการทดสอบเครื่อง ผลรวมค่าเฉลี่ย 3.34 เปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์ระดับการประเมินปานกลาง ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครในด้านความปลอดภัย ผลรวมค่าเฉลี่ย 4.07 เปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์ระดับการประเมินดี ผลการวิเคราะห์แบบประเมินคุณภาพการทดสอบโดยผู้ใช้งานในตอนที่สองส่วนที่สอง ความคิดเห็นต่อคุณสมบัติของเครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า

3. ในการทดสอบผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 5 ท่าน ได้มีความคิดเห็นว่า เครื่องกีดเส้นห้ามเลือดด้วยระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า สามารถนำมาใช้งานจริงได้และสามารถพัฒนาในการวิจัยขั้นต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- จิตต์วรา ยาละ, ณัฐภูมิ ไชยลีนฟ้า และขวัญใจ ทศศิริ. (2559). ประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ป้องกันการเกิดแผลกดทับที่นิ้วเท้าขณะผ่าตัดหัวใจแบบเปิด (Open Heart Surgery) โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์. เชียงรายเวชสาร 8(2): 15-22.
- จิตต์รัตน์ แสงเลิศอุทัย. (2558). เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย. วารสารบัณฑิตศึกษา. 58(1): 13-24.
- จิรภา เทพกระโทก. (2559). การพยาบาลผู้ป่วยภาวะหลอดเลือดหัวใจตีบจากหินปูนที่ได้รับการกรอหลอดเลือดด้วยเครื่องกรอหัวเพชรและใส่ขดลวดค้ำยันหลอดเลือด. รายงานการวิจัย. ฝ่ายการพยาบาล กลุ่มภารกิจด้านการพยาบาล โรงพยาบาลเจริญกรุงประชารักษ์. กรุงเทพมหานคร.
- ทิพย์สุตา พรหมดนตรี และจินตนา คำเกลี้ยง. (2564). ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดเฉียบพลันในวัยผู้ใหญ่ตอนต้น: การทบทวนวรรณกรรมแบบบูรณาการ. วารสารพยาบาลสงขลานครินทร์. 41(3): 99-108.
- พีรญา จารุภุมริน. (2562). ผลของการใส่สายรัดข้อมือ (TR band) ภายหลังการเจาะเลือดต่อภาวะเลือดออกง่ายในผู้ป่วยที่ได้รับยาเฮพาริน. วารสารการพยาบาล. 21(2): 12-22.
- รุจิพรรณ สัมปณณา, เทพทวี ทองเต็มแก้ว, ปณิชนันท์ เสงศรีธวัช และเติมพงษ์ ศรีเทศ. (2566). การประยุกต์ใช้เฟล็กส์เซ็นเซอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์สำหรับช่วยเหลือผู้สูงอายุ. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. 4(1): 90-102.

- ลดาวัลย์ ดิลก และฤทธิกล้า ภิโยทัย. (2562). ผลของการใช้แนวปฏิบัติทางการพยาบาลในการดูแลผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจที่ได้รับการฉีดยาหลอดเลือดหัวใจต่อภาวะแทรกซ้อนและระดับความวิตกกังวลของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจในหอผู้ป่วยอายุรกรรม ธท.2 โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ. พยาบาลสาร. 46(4): 149-157.
- ภาณุเมศวร์ สุขศรีศิริวัชร, ชูชาติ พยอม และศุภชัย แก้วจันทร์. (2563). การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดยาสมุนไพรแบบเพลาลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์สำหรับชุมชนแพทย์แผนไทย อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. 1(3): 95-104.
- วทันญ ปลายเนตร. (2546). การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องมือกดห้ามเลือดที่ประดิษฐ์ขึ้น (จุฬา-แคลมป์) เพื่อใช้ห้ามเลือดภายหลังการสวนเส้นเลือดหัวใจหรือการขยายเส้นเลือดหัวใจ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อัญศิณีย์ นันตะสุคนธ์, สุภาพร อัสวกิจพานิช และอภิญญา ศิริพิทยาคุณกิจ. (2562). การศึกษาภาวะแทรกซ้อนทางหลอดเลือดและอาการปวดบริเวณแผลในผู้ป่วยหลังการสวนหัวใจระหว่างการใส่สายสวนหัวใจที่หลอดเลือดแดงบริเวณขาหนีบกับหลอดเลือดแดงบริเวณข้อมือ หอผู้ป่วยหลังทำหัตถการหัวใจ โรงพยาบาลรามาริบัติ. Mahidol R2R e-Journal. 6(2): 42-54.

Received: June 20, 2023; Revised: July 2, 2023; Accepted: July 17, 2023

Different plant extracts against the early blight (*Alternaria solani*) on tomato (*Solanum lycopersicum*)

Sreynich Eam^{1*}, Pengly Koun¹, Socheath Ong¹, Socheath Tong²,
Borarin Buntong² and Nongnid Prachaiboon³

¹Faculty of Agronomy, Royal University of Agriculture, Phnom Penh, Cambodia

²Division of Research and Extension, Royal University of Agriculture, Phnom Penh, Cambodia

³Faculty Allied Health Sciences, Nakhonratchasima college, Nakhonratchasima province, Thailand

*Corresponding Author E-mail Address: eamsreynich06@gmail.com

Abstract

Alternaria solani, the causal agent of early blight disease, is one of the most destructive pathogens of *Solanum lycopersicum* and reduces productivity by approximately 80%. The aim of this study was to assess the efficiency of three different plant extracts to control *Alternaria solani* on tomato under field conditions. A randomized complete block design (RCBD) was used with four replications and four treatments, namely *Allium sativum* L., *Carica papaya*, *Azadirachta indica*, and control (Water). *Allium sativum* L. (Garlic), *Carica papaya* (Paw paw) and *Azadirachta indica* (Neem) extracts were observed to be more effective on disease severity and disease incidence during week four with a significant difference ($P < 0.01$) compared to the control treatment. The plot treated with *Carica papaya* showed the highest total yield, followed by *Azadirachta indica* and *Allium sativum* L. (1052.8 g, 639.8 g, and 566.8 g, respectively) with significant differences ($p < 0.01$) while the control treatment produced 265.0 g. The application of plant extracts revealed a significant reduction of early blight disease as well as an increased total yield of tomatoes compared to the control treatment.

Keywords: *Alternaria solani*, *Allium sativum* L., *Carica papaya*, *Azadirachta indica*, Phytochemical compounds

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum*) is one of the most important economic crops and is a widely consumed vegetable. It belongs to the *Solanaceae* family and is susceptible to (Foolad et al., 2008) different types of pathogens. Early blight is the causative agent of *Alternaria solani* (*A. solani*), which is one of the most destructive fungal diseases on tomatoes (Foolad et al., 2008; Roy et al., 2019) and causes yield losses up to 80% (Khan et al., 2012; Pandey et al., 2020). The conidia of *A. solani* survive under the host debris and its thick wall enables this pathogen to survive in adverse climatic conditions. Temperatures ranging from 8-32 °C are suitable for the mycelia of *A. solani* to germinate (Kemmitt, 2002). This pathogen can infect the leaf, stem, and fruit of tomato plants (Foolad et al., 2008; El-Kholy et al., 2021) by entering tissues through stomata or wounds (Kemmitt, 2002). To combat early blight disease in tomatoes, synthetic fungicides are commonly applied (Akila and Sathiy, 2012; Mugao et al., 2021). Although chemical substances are effective agents and prevent the pathogen's development, it poses a life-threatening risk to the lives of non-target organisms in the environment (Martinez, 2012; Yoon et al., 2013; Ritika and Utpal, 2014). Furthermore, *A. solani* may be resistant to synthetic fungicides, which may leave residue inside tomato fruits. Currently, the global trend toward sustainable agricultural practices encourages reducing the application of chemical substances. Therefore, alternative methods of controlling the pathogen without having detrimental impacts on the environment are taken into consideration. The majority of organic pesticides degrade quickly, leave no hazardous residues on crops and have no risk to the non-target organism (Kimani, 2014). They present a safe alternative for controlling fungi and mycotoxins in food and feed as a result (Iram et al., 2015; Prakash et al., 2020). Several plants produce different groups of chemical compounds that offer protection against phytopathogens (Kagale et al., 2004; Goussous et al., 2010; Sallam, 2011; Romanazzi et al., 2012; Das et al., 2020). These consist of phenolic compounds such as flavonoids, phytosterols, carotenoids, tocopherols, terpenoids, alkaloids, saponins, tannins, aromatic acids, glucosinolates, carotenoids, essential oils, chlorophyll and organic acids (Adebo and Gabriela Medina-Meza, 2020; Loi et al., 2020; Righini et al., 2021). Applying plant extracts is one strategy to inhibit fungal spore development on host plants (Sharma and Kumar, 2009). Naik et al. (2020) reported that aqueous extracts of *Azadirachta indica*, *Ocimum sanctum* and *Zingiber officinale* at 10% concentration limit the development of *A. solani* spores accounting for 64.24%, 58.62% and 57.32% inhibition, respectively. Mohana and Raveesha (2007) demonstrated that the antifungal activities of *Decalepis hamiltonii* extract, which was able to inhibit mycelial growth of various species such as *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Drechslera* spp. and *Alternaria* spp. Thus, this research investigates the efficacy of plant extracts from three different plant species against *A. solani* under field conditions.

Materials and Methods

1. Treatments and experimental designs

Extracts from the plant species *Allium sativum* L., *Carica papaya*, *Azadirachta indica* were selected for the study. Then, the plant materials were washed for 2-3 minutes before drying. A randomized complete block design (RCBD) with four replications and four treatments was utilized for this experiment.

2. Isolation and inoculation pathogen

Infected tomato leaves and fruits exhibiting symptoms of early blight disease were collected from fields in Kandal province, Cambodia. A diseased 5 mm portion of the leaf was cut and placed into sterile, distilled water followed by 0.1% sodium hypochlorite (NaOCl) and then rinsed with distilled water again. The leaf segments were transferred to potato dextrose agar (PDA) culture media and placed in room temperature ($25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) (Parvin et al., 2021). After mycelial development, spores were isolated under the microscope and verified according to the morphology and reproductive structure of *A. solani*. Once confirmed, the spores of *A. solani* were cultured again to purify the pathogen. Cultured spores were adjusted to 5×10^6 conidia/ml after 15 days and used to inoculate 30-day-old tomato plants using 20 ml per plant. After inoculation, plants were covered with polyethylene bags for 48 hours to maintain a high humidity condition. Then, the plastic bags were removed and plants were maintained under field conditions.

3. Pathogenicity testing

Ten days after inoculation using the methods described in the previous section the leaves of the tomato plants turned yellow and developed dark ring spots that later turned into necrotic areas. Leaves of tomato showing symptoms of *A. solani* infection were used to re-isolate the pathogen in the plant pathology laboratory, Faculty of Agronomy at the Royal University of Agriculture. The pathogen was cultured on potato dextrose agar and the morphology of sporulation was characterized using the same technique previously described. The spores of *A. solani* was used to inoculate in the experiment once the pathogen was confirmed.

4. Extract preparation

The plant materials, namely *Allium sativum* L., *Carica papaya*, and *Azadirachta indica* were dried in the oven for 1 day at 70°C . Leaves were then ground in an electric grinding machine to find the powder. The 40g of powder from each plant was soaked for 24 hours in 200 ml of 80% ethanol (Baka and Rashad, 2016). Next, the suspension was filtered through Whatman's filter paper and each extract was diluted to 30% concentration using distilled water and centrifuged for 15 minutes. Plant extracts were applied by spraying four times at 15-day intervals starting one week after plants were inoculated

5. Disease severity and disease incidence

Two weeks after inoculation disease severity (DS) and disease incidence (DI) were recorded and plant extracts were applied (Sallam, 2011). Symptom severity and disease rates of *A. solani* infection was scaled from 0-9 according to Latha et al. (2009): 0 = Healthy, 1 = 1-5%, 2 = 6-10%, 3 = 11-25%, 5 = 26-50%, 7 = 51-75%, 9 = > 75% of leaf area infected with early blight symptoms.

Results

The result of disease severity on tomato plants from week 1 to week 4 after spraying the plant extracts is presented in Table 1. There was no significant difference between disease severity during weeks 1 2, but weeks 3 and 4 demonstrated significantly different levels of disease severity ($p < 0.01$). Regarding results from week 1, plants sprayed with extract from *Allium sativum* displayed the highest rate of disease severity (15.50%), followed by control (15.00%), *Azadirachta indica* (13.25%) and *Carica papaya* (9.50%). Conversely, the control had the highest amount of disease severity in week 2 with 62.50%, followed by *Allium sativum* L., *Azadirachta indica* and *Carica papaya* with 43.75%, 37.50%, 0 and 31.25%, respectively. For weeks 3 and 4, the control plants exhibited significantly higher disease severity results ($p < 0.01$) compared to plants receiving extract treatments, while there was no significant difference between extract treatments. The severity of disease observed on control plants was by far the highest at 57.50% when compared to plants treated with extracts from *Allium sativum* L. (23.75%), *Azadirachta indica* (20.75%), and *Carica papaya* (18.25%). During week 4, control treatment still demonstrated the highest percentage of disease severity at 70.75%, followed by *Allium sativum* L. (25.75 %), *Azadirachta indica* (24.25 %) and finally *Carica papaya* (19.00%).

Table 1 Effect of different plant extract on disease severity of early blight disease on tomato measured in percentage.

Treatments	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4
Control	15.00	62.50	57.50 ^a	70.75 ^a
<i>Allium sativum</i> L.	15.50	43.75	23.75 ^b	25.75 ^b
<i>Carica papaya</i>	9.50	31.25	18.25 ^b	19.00 ^b
<i>Azadirachta indica</i>	13.25	37.50	20.75 ^b	24.25 ^b
LSD (P=0.05)	0.7612 ^{ns}	0.3242 ^{ns}	0.0022 ^{**}	0.00 ^{**}

Note: The value in the table followed by the different letters indicate significant difference among treatments according to the last significant difference test $p < 0.01$ and $p < 0.05$ using LSD (*) = $p < 0.05$, (**) = $p < 0.01$, ns= non-significant.

Disease incidence results presented in Table 2, which shows no significant difference all treatments in weeks 1 and 2. In week 1, tomatoes sprayed with *Allium sativum* L. displayed the highest percentage of disease incidence at 37.50%, whereas control, *Carica papaya* extract, and *Azadirachta indica* extract treatments were all 31.25%. The percentage of disease incidence in the control treatment increased to 62.50% by the second week, while *Allium sativum* L., *Azadirachta indica* and *Carica papaya* extract treatments showed disease incidence levels of 43.75%, 37.50% and 31.25%, respectively. By weeks 3 and 4, however, there were significant difference at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively. Control treatment plants had 87.5% of disease incidence by week 3, which was significantly higher than plant treated with extracts from *Carica papaya* (37.50%) and *Azadirachta indica* (50.00%). Control plants had 100.00% disease incidence by week 4, while *Carica papaya* (T2) had the lowest disease incidence percentage (37.50%) followed by *Azadirachta indica* (62.50%) and *Allium sativum* L. (68.75%).

Table 2 Effect of different plant extracts on disease incidence of early blight disease on tomato measure in percentage.

Treatments	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4
Control	31.25	62.50	87.50 ^a	100.00 ^a
<i>Allium sativum</i> L.	37.50	43.75	56.25 ^{ab}	68.75 ^b
<i>Carica papaya</i>	31.25	31.25	37.50 ^b	37.50 ^c
<i>Azadirachta indica</i>	31.25	37.50	50.00 ^b	62.50 ^{bc}
LSD (P=0.05)	0.944 ^{ns}	0.3294 ^{ns}	0.0385 [*]	0.0058 ^{**}

Note: The value in the table followed by the different letters indicate significant differences between treatments according to the least significant difference test $p < 0.01$ and $p < 0.05$ using LSD (*) = $p < 0.05$, (**) = $p < 0.01$, ns= non-significant.

Table 3 indicates that there was no significant difference in days to between 50% flowering. The control treatment took more days to flower at 40.50 days, followed by *Azadirachta indica*, *Allium sativum* L. and *Carica papaya* at 40.00, 39.75 and 39.00 days, respectively. However, of the number of days it took for 100.00% of the plants in each treatment to flower significant different at $p \leq 0.01$ which the control treatment proved the highest with 49.75 days to flower, followed by *Allium sativum* L. (44.50 days), *Azadirachta indica* (42.25 days) and *Carica papaya* (41.00 days). The height of plants treated with *Carica papaya* extract (99.688 cm) were significantly greater than those of other treatments. There was no significant difference between the plant heights of *Allium sativum* L. and *Azadirachta indica* extract treatment groups at 87.875 cm and 85.625 cm, respectively. Control treatment plants were significantly shorter than all other treatments at 75.370 cm. Fruit weight showed no significant differences between all treatments. The *Carica papaya* extract treatment group demonstrated the greatest fruit weight at 35.332 g followed by *Azadirachta indica*, *Sativum* L. and the control treatment with 32.347 g, 31.387 g and 28.033 g, respectively. In addition, the total yields exhibited significant differences at $p \leq 0.01$. The plot treated with *Carica papaya* extract showed a significantly

higher highest total yield (1,071.3 g) than other treatments, while *Azadirachta indica* (639.8 g) and *Allium sativum* L. (566.8 g) extract treatment plots were not significantly different from one another. The plot containing plants in the control treatment group had a significantly lower yield compared to plots that underwent extract treatments (265.0 g).

Table 3 Effect of different plant extracts on days of 50% and 100% flowering, plant height, fruit weight, and total yield.

Treatments	50% F (days)	100% F (days)	PH (cm)	FW (g)	Total Yield (g)
Control	40.50	49.75 ^a	75.375 ^c	28.033	265.0 ^c
<i>Allium sativum</i> L.	39.75	44.50 ^b	87.875 ^b	31.387	566.8 ^b
<i>Carica papaya</i>	39.00	41.00 ^c	99.688 ^a	35.332	1071.3 ^a
<i>Azadirachta indica</i>	40.00	42.25 ^{bc}	85.625 ^b	32.347	639.8 ^b
LSD (P=0.05)	0.6670 ^{ns}	0.0011 ^{**}	0.0025 ^{**}	0.0772 ^{ns}	0.0007 ^{**}

Note: The value in the table followed by the different letters indicate significant differences among treatments according to the least significant difference test $p < 0.01$ and $p < 0.05$ using LSD (*) = $p < 0.05$, (**) = $p < 0.01$, ns= non-significant. 50% and 100% F= Percentage of flower, FW: Fruit weight, PH= Plant height.

Discussion

The present study illustrated that the application of plant extracts has a significant influence on disease severity, disease incidence, plant height, time to 100% flowering and total yield compared to the control treatment. Several studies have reported the effectiveness of various plant extracts in reducing pathogen development. Latha et al. (2009) reported that the antimicrobial activity of plant extracts induced the growth of *A. solani* mycelium approximately 87%. Plant extracts reduced fungal development by destroying the membrane and inducing the synthesis of lipids, proteins and nucleic acids (Harris et al., 2001; Bayan et al., 2014). The antifungal compounds of plant extracts had the inhibition of fungal mycelium growth (Anusha, 2003). The chemical compounds attributed to the antifungal activity of plant extract had various groups such as coumarins, pyrones, steroids, phenolics and phenol acid, flavonoids, isoflavonoids, alkaloids and other compounds (Jantasorn et al., 2016). The presence of llicin in garlic extracts exhibited antifungal activity that inhibited the development of fungal spores (Satya et al., 2005) and prevented fungal growth by disrupting the membrane and prohibiting synthesis of lipids, proteins and nucleic acids (Bayan et al., 2014). Tegegne et al. (2008) reported there were various types of tetra terpenoids and phenolics in neem extract that were antagonistic to the *Alternaria solani* mycelium. According to the result, the extract from *Carica papaya* was the most effective against *A. solani* development and also increased the total yield compared to other plant extracts and control treatments. Many researchers have reported *Carica papaya* leaf enriches phytochemical compounds which enable it to inhibit the spore development of pathogens,

however, these compounds can be different according to the choice of solvent substances. Ethanol is more efficient at dissolving bioactive compounds than water (Baka and Rashad, 2016) and organic solvents (Lengai and Muthomi, 2018). Baskaran et al. (2012) reported that the ethanolic plant extracts retained the presence of alkaloids, carbohydrates, saponins, glycosides, proteins, amino acids, phytosterol, flavonoids and terpenoids. Noshad et al. (2018) reported that *Cariaca papaya* leaf extract exhibited antimicrobial activity and secondary metabolites which were effective against various fungal diseases. The secondary metabolites play an essential role in improving plants resistance to fungal diseases. Flavonoid compounds have been identified as an effective antifungal agents against a vast array of disease pathogens (Salazar-Aranda et al., 2015; Yang et al., 2017; Mohotti et al., 2020) and serve vital roles in the plant such as cell signaling, plant growth, UV photo-protection, reproduction and transfer of auxin (Buer and Muday, 2004). With regards to alkaloids, it is known to have a wide range of antimicrobial activity which plays a major role in plant physiology and host-plant resistance (Dheeb, 2015). Apart from the secondary metabolites, *Carica papaya* leaf also contains nutrients such as protein, phosphorus, Vitamins B and E, calcium and sodium (Tewari et al., 2014). The composition of nutrients in papaya leaf has also been shown to significantly improve the yield and development of tomatoes (Singh et al., 2000).

Conclusion

The study illustrates that three types of plant extracts, namely *Allium sativum* L., *Carica papaya*, *Azadirachta indica* can reduce the development of *A. solani* on tomatoes compared to the control treatment. In this case, the application of *Carica papaya* leaf extract had antifungal properties that led to significant improvements in multiple parameters compared to control conditions and treatments with the other two plant extract in some cases and was the most effective method to control *A. solani*. Therefore, this preliminary study warrants further investigation by isolation and characterization of specific compounds from plant extracts.

Acknowledgements

The work was funded by Higher Education Improvement Project (Credit No. 6221-KH). We also thank to the Department of Plant Pathology of Faculty of Agronomy at the Royal University of Agriculture for access to the laboratory.

References

- Adebo O.A. and Gabriela Medina-Meza I. (2020). Impact of fermentation on the phenolic compounds and antioxidant activity of whole cereal grains: A mini review. *Molecules*. 25(4): 927. DOI: 10.3390/molecules25040927
- Akila G. and Sathiy C.E.A. (2012). Treatment of tomato plants with yeast extract glucan induce chitinase activity, resistance to *Alternaria solani*, the causal agent of early blight disease. *International Journal of Biology. Pharmacy and Allied Sciences*. 1: 1492-1499.
- Anusha B. (2003). Botanical fungicides for rice sheath blight management. M.S. (Ag). Thesis. Tamil Nadu Agricultural University. Coimbatore. India.
- Baka Z.A. and Rashad Y.M. (2016). Alternative control of early blight of tomato using plant extracts from *Acacia nilotica*, *Achillea fragrantissima* and *Calotropis procera*. *Phytopathologia Mediterranea*. 55(1). 121-129.
- Baskaran C., Velu S. and Kumaran K. (2012). The efficacy of *Carica papaya* leaf extract on some bacterial and a fungal strain by well diffusion method. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. 2: S658-S662.
- Bayan L., Koulivand P.H. and Gorji A. (2014). Garlic: a review of potential therapeutic effects. *Avicenna journal of phytomedicine*. 4(1): 1-14.
- Buer C.S. and Muday G.K. (2004). The transparent testa4 mutation prevents flavonoid synthesis and alters auxin transport and the response of *Arabidopsis* roots to gravity and light. *The Plant Cell*. 16(5): 1191-1205.
- Das S., Chaudhari A.K., Singh A., Singh V.K., Dwivedy A.K. and Dubey N.K. (2020). Foodborne microbial toxins and their inhibition by plant-based chemicals. In *Functional and preservative properties of phytochemicals*. Elsevier. 165-207.
- Dheeb B.I. (2015). Antifungal activity of alkaloids and phenols compounds extracted from black pepper *Piper nigrum* against some pathogenic fungi. *Journal of Biotechnology Research Centre*. 9(2): 46-54.
- El-Kholy R., El-Samadesy A., Helalia A. and El-Ballat E. (2021). Efficacy of certain chemical fungicides and biofungicides on early blight disease in tomato under field conditions. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*. 46(2): 145-153.
- Foolad M.R., Merk H.L. and Ashrafi H. (2008). Genetics, genomics and breeding of late blight and early blight resistance in tomato. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 27(2): 75-107.
- Goussous S.J., Abu el-Samen F.M. and Tahhan R.A. (2010). Antifungal activity of several medicinal plants extracts against the early blight pathogen (*Alternaria solani*). *Archives of phytopathology and plant protection*. 43(17): 1745-1757.
- Harris J., Cottrell S., Plummer S. and Lloyd D. (2001). Antimicrobial properties of *Allium sativum* (garlic). *Applied microbiology and biotechnology*. 57(3): 282-286.

- Iram W., Anjum T., Iqbal M., Ghaffar A. and Abbas M. (2015). Mass spectrometric identification and toxicity assessment of degraded products of aflatoxin B1 and B2 by *Corymbia citriodora* aqueous extracts. *Scientific reports*. 5(1): 1-15.
- Jantasorn A., Moungrsrimuangdee B. and Dethoup T. (2016). In vitro antifungal activity evaluation of five plant extracts against five plant pathogenic fungi causing rice and economic crop diseases. *Journal of Biopesticides*. 9(1): 1-7.
- Kagale S., Marimuthu T., Thayumanavan B., Nandakumar R. and Samiyappan R. (2004). Antimicrobial activity and induction of systemic resistance in rice by leaf extract of *Datura metel* against *Rhizoctonia solani* and *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 65(2): 91-100.
- Kemmitt G. (2002). Early blight of potato and tomato. *The Plant Health Instructor*.
DOI: [https://doi.org/ 10.1094/PHI-I-2002-0809-01](https://doi.org/10.1094/PHI-I-2002-0809-01).
- Khan N., Mishra A. and Nautiyal C.S. (2012). *Paenibacillus lentimorbus* B-30488r controls early blight disease in tomato by inducing host resistance associated gene expression and inhibiting *Alternaria solani*. *Biological control*. 62(2): 65-74.
- Kimani, V. (2014) Bio-Pesticides Development, Use and Regulation in Kenya. Regional Experts Workshop on Development, Regulation and Use of Bio-Pesticides in East Africa, Nairobi, Kenya, 22-23 May 2014.
- Latha P., Anand T., Ragupathi N., Prakasam V. and Samiyappan R. (2009). Antimicrobial activity of plant extracts and induction of systemic resistance in tomato plants by mixtures of PGPR strains and Zimmu leaf extract against *Alternaria solani*. *Biological control*. 50(2): 85-93.
- Lengai G.M. and Muthomi J. W. (2018). Biopesticides and their role in sustainable agricultural production. *Journal of Biosciences and Medicines*. 6(06): 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.619058>.
- Loi M., Paciolla C., Logrieco A.F. and Mulè G. (2020). Plant bioactive compounds in pre-and postharvest management for aflatoxins reduction. *Frontiers in Microbiology*. 11: 243.
DOI: 10.3389/fmicb.2020.00243.
- Martinez J.A. (2012). Natural fungicides obtained from plants. In D. Dhanasekaran, N. Thajuddin and A. Panneerselvam. *Fungicides for plant and animal diseases*. IntechOpen. DOI: 10.5772/26336.
- Mohana D. and Raveesha K. (2007). Anti-fungal evaluation of some
Mohana D. and Raveesha K. (2007). Anti-fungal evaluation of some plant extracts against some plant pathogenic field and storage fungi. *Journal of Agricultural Technology*. 4(1): 119-137.
- Mohotti S., Rajendran S., Muhammad T., Strömstedt A.A., Adhikari A., Burman R., De Silva E., Göransson U., Hettiarachchi C. and Gunasekera S. (2020). Screening for bioactive secondary metabolites in Sri Lankan medicinal plants by microfractionation and targeted isolation of antimicrobial flavonoids from *Derris scandens*. *Journal of Ethnopharmacology*. 246: 112158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112158>
- Mugao L.G., Gichimu B.M., Muturi P.W. and Njoroge E.K. (2021). Essential oils as biocontrol agents of early and late blight diseases of tomato under greenhouse conditions. *International Journal of Agronomy*. 2: 1-10. DOI:10.1155/2021/5719091.

- Naik S., Narute T. and Khaire P. (2020). In vitro efficacy of plant extract (botanicals) against *Alternaria solani* (early blight of tomato). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9(5): 614-617.
- Noshad Q., Anjum M., Malik N.Z., Ajaib M., Jehangir S. and Riaz M. (2018). Investigations of phytochemical and antifungal activity of *Carica papaya* L. leaves. *Pure and Applied Biology*. 7(1): 309-314.
- Pandey S., Giri V.P., Tripathi A., Kumari M., Narayan S., Bhattacharya A., Srivastava S. and Mishra A. (2020). Early blight disease management by herbal nanoemulsion in *Solanum lycopersicum* with bio-protective manner. *Industrial crops and products*. 150: 112421.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112421>
- Parvin I., Mondal C., Sultana S., Sultana N. and Aminuzzaman F. (2021). Pathological survey on early leaf blight of tomato and in vitro effect of culture media, temperature and pH on growth and sporulation of *Alternaria solani*. *Open Access Library Journal*. 8(3): 1-17.
- Prakash B., Kumar A., Singh P.P. and Songachan L. (2020). Antimicrobial and antioxidant properties of phytochemicals: Current status and future perspective. *Functional and preservative properties of phytochemicals*. 1-45.
- Righini H., Francioso O., Di Foggia M., Martel Quintana A. and Roberti R. (2021). Assessing the potential of the Terrestrial Cyanobacterium *Anabaena minutissima* for controlling *Botrytis cinerea* on tomato fruits. *Horticulturae*. 7(8): 210. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080210>.
- Ritika B. and Utpal D. (2014). An overview of fungal and bacterial biopesticides to control plant pathogens/diseases. *African Journal of Microbiology Research*. 8(17): 1749-1762.
- Romanazzi G., Lichter A., Gabler F.M. and Smilanick J. L. (2012). Recent advances on the use of natural and safe alternatives to conventional methods to control postharvest gray mold of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 63(1): 141-147.
- Roy C., Akter N., Sarkar M., PK M., Begum N. and Zenat E. (2019). Control of early blight of tomato caused by *Alternaria solani* and screening of tomato varieties against the pathogen. *The Open Microbiology Journal*. 13: 41-50.
- Salazar-Aranda R., Granados-Guzmán G., Pérez-Meseguer J., González G. M. and Waksman de Torres N. (2015). Activity of polyphenolic compounds against *Candida glabrata*. *Molecules*. 20(10): 17903-17912.
- Sallam N.M.A. (2011). Control of tomato early blight disease by certain aqueous plant extracts. *Plant Pathology Journal*. 10(4): 187-191.
- Satya V., Radhajeyalakshmi R., Kavitha K., Paranidharan V., Bhaskaran R. and Velazhahan R. (2005). In vitro antimicrobial activity of zimmu (*Allium sativum* L., *Allium cepa* L.) leaf extract. *Archives of phytopathology and plant protection*. 38(3): 185-192.
- Sharma B. and Kumar P. (2009). In vitro antifungal potency of some plant extracts against *Fusarium oxysporum*. *International Journal of Green Pharmacy*. 3(1). DOI:10.4103/0973-8258.49377.
- Singh U., Sarma B., Mishra P. and Ray A. (2000). Antifungal activity of venenatine, an indole alkaloid isolated from *Alstonia venenata*. *Folia microbiologica*. 45(2): 173-176.

- Tegegne G., Pretorius J. and Swart, W. (2008). Antifungal properties of *Agapanthus africanus* L. extracts against plant pathogens. *Crop Protection*. 27(7): 1052-1060.
- Tewari B.B., Subramanian G. and Gomathinayagam, R. (2014). Antimicrobial properties of *Carica papaya* (Papaya) different leaf extract against *E. coli*, *S. aureus* and *C. albicans*. *American Journal of pharmacology and pharmacotherapeutics*.
- Yang Y.-X., An M.-M., Jin Y.-S. and Chen H.-S. (2017). Chemical constituents from the rhizome of *Polygonum paleaceum* and their antifungal activity. *Journal of Asian natural products research*. 19(1): 47-52.
- Yoon M.Y., Cha B. and Kim J.C. (2013). Recent trends in studies on botanical fungicides in agriculture. *The plant pathology journal*. 29(1): 1. DOI: 10.5423/PPJ.RW.05.2012.0072.

Received: June 16, 2023; Revised: July 2, 2023; Accepted: August 15, 2023

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุก ในระหว่างการเก็บรักษา

Quality changes of probiotic beverages from ripe ceylon spinach (*Basella alba* Linn.) juice during storage

มณชัย เดชสังกรานนท์^{1*} วิภา ทัพเชียงใหม่¹ และศักดิ์ชัย ยอดมิกลิ้น¹Monchai Dejsungkranont^{1*}, Wipa Tupchiangmai¹ and Sakchai Yordmeeklin¹¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพมหานคร¹Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, Bangkok Province

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

บทคัดย่อ

การผลิตเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุก พบว่าสูตรน้ำผลผักปลังที่เหมาะสมประกอบด้วยอัตราส่วนของน้ำผลผักปลัง : น้ำ เท่ากับ 1 : 3, ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้นเท่ากับ 10°Brix และปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและกายภาพเพียงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษานาน 21 วัน เครื่องดื่มที่เติม *Lactobacillus plantarum* TISTR No. 1465 มีค่าสว่าง (L*) สูงที่สุด เท่ากับ 6.36 ในขณะที่เครื่องดื่มที่เติม *L. acidophilus* TISTR No. 450 มีค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) สูงที่สุด เท่ากับ 24.76 และ 3.55 ตามลำดับ การศึกษาการเหลือรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติก 3 ชนิด ได้แก่ *L. acidophilus* TISTR No. 450, *L. plantarum* TISTR No. 1465 และ *L. casei* TISTR No. 1463 พบว่ามีจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตสูงกว่าระดับที่กำหนดให้เป็นระดับที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากัน แบคทีเรียโพรไบโอติกแต่ละชนิดเหลือรอดชีวิตในน้ำผลผักปลังสุกได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาพบว่า *L. acidophilus* TISTR No. 450 มีจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตมากที่สุดเท่ากับ 6.21 ล็อก โคลนีต่อมิลลิลิตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกทั้ง 3 ชนิด สามารถปรับตัวได้ดีในน้ำผลผักปลังสุก

คำสำคัญ: น้ำผลผักปลัง เครื่องดื่มโพรไบโอติก แบคทีเรียกรดแลคติก การเปลี่ยนแปลงในระหว่างเก็บรักษา

Abstract

Production of probiotic beverages from ripe ceylon spinach (*Basella alba* Linn.) juice. It was found that the appropriate ripe ceylon spinach juice recipe consists of the ratio of ripe ceylon spinach juice : water equal to 1 : 3, initial total soluble solids of 1 °Brix, and initial pH adjustment of 4. The study on quality changes of probiotic beverages from ripe ceylon spinach juice during storage at 5 °C for 21 days, little chemical and physical changes were observed. At the end of 21-day storage, beverages with the addition of *Lactobacillus plantarum* TISTR No. 1465 had the highest lightness (L*) of 6.36, while beverages with the addition of *L. acidophilus* TISTR No. 450 had the highest red (a*) and yellow (b*) values of 24.76 and 3.55, respectively. While the survival of three probiotic bacteria, *L. acidophilus* TISTR No. 450, *L. plantarum* TISTR No. 1465 and *L. casei* TISTR No. 1463, the number of surviving cells was higher than the specified level to a level that is beneficial to the body. There were no significant differences in the survival of each type of probiotic bacteria ($p>0.05$) with longer storage periods. At the end of storage, *L. acidophilus* TISTR No. 450 had the highest number of surviving cells at 6.21 Log CFU/mL. Experiments have shown that all 3 types of probiotic bacteria adapted well to ripe vegetable juice.

Keywords: Ceylon spinach juice, Probiotic drinks, Lactic acid bacteria, Storage

บทนำ

เครื่องดื่มโพรไบโอติกเป็นเครื่องดื่มสุขภาพที่ประกอบด้วยเซลล์จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีชีวิตในปริมาณมากเพียงพอและสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในระบบย่อยอาหารของมนุษย์ได้ โดยจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่สำคัญคือแบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ผลผลิตของเมตาบอไลซึมของแบคทีเรียกรดแลคติกจะได้สารต่าง ๆ ที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก และแบคทีเรียโพรไบโอติก จึงช่วยควบคุมแบคทีเรียก่อโรคที่อยู่ในลำไส้และปรับสมดุลต่าง ๆ ให้กับร่างกาย เช่น ยับยั้งเซลล์มะเร็ง, ลดระดับคอเลสเตอรอล ฟอสฟอลิปิด และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด, ช่วยส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน, เพิ่มการดูดซึมแคลเซียมในระบบย่อยอาหาร รักษาอาการท้องเสีย ลำไส้อักเสบเรื้อรัง โรคภูมิแพ้ ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ และสามารถผลิตวิตามินที่สำคัญได้อีกหลายชนิด เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 กรดนิโคตินิก และกรดโฟลิก เป็นต้น (Vanderhoof, 2001) เนื่องจากผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกส่วนใหญ่มีผลผลิตออกมาในรูปของผลิตภัณฑ์นมหมัก ซึ่งผู้บริโภคที่ไม่มีเอนไซม์ย่อยแลคโทสหรือแพ้แลคโทสในนม (Lactose intolerant) ไม่สามารถบริโภคได้ (Rong et al., 2011) การพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกจากน้ำผักและน้ำผลไม้จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะอุดมด้วยวิตามินและเกลือแร่ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและสามารถดื่มได้ทุกเพศทุกวัย

ผักปลัง (Ceylon spinach) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Basella alba* Linn. อยู่ในวงศ์ Basellaceae จัดเป็นผักพื้นบ้าน ที่พบทั่วทุกภูมิภาคของไทย มีทั้งชนิดที่มีลำต้นสีเขียว (ผักปลังขาว) และลำต้นสีม่วงแดง (ผักปลังแดง) ผักปลังมีประโยชน์ทางสมุนไพร คือ แก้กัมพิษ, ผื่นคัน, แผลไฟไหม้, กลาก, ฝี, แก้วแค, แก้วทงผูก, ลดไข้, แก้วขัดเบา, ใช้เป็นยาระบาย, ป้องกันสิว และกระ และลดการทำลายของเซลล์ตับ เป็นต้น (Saikia et al., 2006; Akhter et al., 2008) สารสำคัญที่พบในผักปลัง ได้แก่ สารประกอบฟีนอล, แคโรทีนอยด์, กรดไขมัน, เพกติน, กรดอะมิโน, เพพไทด์ และโทรเทอร์พีนแซโพนิน (ชินนภา และ นานาสจี้, 2552) โดยสีม่วงดำของผลสุกเกิดจากสารกลุ่มบีตาเลน (Betalain) (Azeredo, 2009) ซึ่งมีคุณสมบัติต้าน

อนุมูลอิสระและละลายน้ำได้ดี (นิธิยา, 2545) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าน้ำผลผักปลังสุกพันธุ์ขาวประกอบด้วย ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เถ้า, คาร์โบไฮเดรต และไฟเบอร์ เท่ากับ 96.77, 0.80, 0.01, 0.70, 1.72 และ 0.04 g/100 g ตามลำดับ และพบว่ามีแคลเซียม, ฟอสฟอรัส และเหล็ก เท่ากับ 31.86, 266.13 และ < 0.50 mg/100 g ตามลำดับ (มณชัย และคณะ, 2560) จากรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ของผู้วิจัยพบว่าน้ำผลผักปลังสุกพันธุ์ขาวมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หมักจากจุลินทรีย์ เช่น โยเกิร์ต และวุ้นสวรรค์ (มณชัย และคณะ, 2560) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นเครื่องดื่มโพรไบโอติกสำหรับผู้รักสุขภาพ

การใช้ประโยชน์จากน้ำผลผักปลังและแบคทีเรียโพรไบโอติกมีจุดสำคัญที่ควรพิจารณาคือ แบคทีเรียโพรไบโอติกควรปรับตัวอยู่ในน้ำผลผักปลังได้ดีและมีจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตเหลืออยู่อย่างน้อย 5 ล็อก โคโลนีต่อมิลลิลิตร (Log CFU/mL) จึงถือว่าเป็นระดับที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Therapeutic dose) (Lee and Salminen, 1995; Dave and Shah, 1996) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ค่าพีเอช, ค่าออกซิเจน, ปริมาณออกซิเจน, การเกิดภาวะแข่งขันกับจุลินทรีย์ชนิดอื่น, การมีสารยับยั้ง ตลอดจนวัสดุที่ใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษาและการเหลือรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติก ข้อมูลที่ได้จะเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำผลผักปลังสุกให้มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการสร้างนวัตกรรมอาหารที่ตอบสนองกลุ่มผู้บริโภคที่รับประทานมังสวิรัต และแพ้อาหารทะเลในนม และยังช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพืชท้องถิ่นและอนุรักษ์พันธุ์พืชด้วยการส่งเสริมให้มีการปลูกผักปลังเป็นอาชีพ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างผลผักปลังสุก

เก็บตัวอย่างผลสุกของผักปลังพันธุ์ขาว ซึ่งมีสีม่วงดำทั่วทั้งผลโดยเลือกเก็บเฉพาะผลที่มีขนาด 0.5-0.6 มิลลิเมตร จากพื้นที่เพาะปลูกใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม จากนั้นนำมาแยกก้านและสิ่งสกปรกออก แล้วนำไปล้างน้ำและผึ่งให้แห้งเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. การเตรียมน้ำผลผักปลังสุก

นำผลผักปลังสุกมาคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นแยกกาก จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบางเพื่อแยกกากออก จะได้น้ำผลผักปลังสุกเพื่อใช้ทดลองต่อไป

3. จุลินทรีย์โพรไบโอติก

จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่ใช้ในการทดลอง คือ แบคทีเรีย *L. acidophilus* TISTR 450, *L. plantarum* TISTR 1465 และ *L. casei* TISTR 1463 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยเก็บรักษาในอาหาร de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) agar ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20% (v/v) ที่อุณหภูมิ -20°C

4. การเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์

เลี้ยงแบคทีเรียโพรไบโอติกแต่ละชนิดในอาหาร MRS broth ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่มีการเขย่าที่ 150 rpm ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4°C นาน 10 นาที แล้วล้างเซลล์ด้วยสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.9% (w/v) และนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง นำตะกอนเซลล์ที่ได้มาปรับให้มีจำนวนเซลล์ประมาณ 10^6 CFU/mL ด้วยสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.9% (w/v) เพื่อใช้เป็นโพรไบโอติกในการทดลองต่อไป

5. การคัดเลือกสูตรน้ำผลไม้ที่ผสม

ทำการเตรียมน้ำผลไม้ทั้งหมด 6 สูตร เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลไม้สด รวบรวมข้อมูลของแต่ละสูตรแสดงดังตารางที่ 1 การเตรียมน้ำผลไม้สดโดยเจือจางน้ำผลไม้สดกับน้ำสะอาดในอัตราส่วนที่ศึกษา จากนั้นปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่อง Hand refractometer และค่าพีเอชด้วย pH meter ตามระดับที่ศึกษาโดยใช้น้ำตาลกรวดและน้ำมะนาวคั้นสด ตามลำดับ แล้วนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72°C นาน 15 นาที บรรจุใส่ขวดและนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความเปรี้ยว ความหวาน และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน เพื่อหาสูตรน้ำผลไม้ที่ผสมด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยให้คะแนนความชอบที่ระดับ 1-9 (9 = ชอบมากที่สุด, 1 = ชอบน้อยที่สุด)

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลไม้สดในระหว่างการเก็บรักษา

เตรียมน้ำผลไม้สดตามสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 5 จากนั้นนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72°C นาน 15 นาที รอให้เย็นแล้วเติมกลีเซอรีนแบคทีเรียโพรไบโอติกลงไปในปริมาณ 15% (v/v) แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน สุ่มตัวอย่างในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12, 15, 17, 19 และ 21 ของการเก็บรักษามาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer วัดค่าพีเอชโดยใช้เครื่อง pH meter วิเคราะห์ปริมาณกรดแลกติกโดยวิธี Titration วัดค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี Handy colorimeter และตรวจวัดการเสื่อมสภาพของแบคทีเรียโพรไบโอติกโดยวิธี Standard plate method โดยใช้อาหาร de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) (รายงานผลเป็น Log CFU/mL หลังจากทำการบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง)

ตารางที่ 1 การผันแปรอัตราส่วนระหว่างน้ำผลไม้สดต่อน้ำ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และระดับพีเอชที่แตกต่างกันเพื่อใช้ในการเตรียมน้ำผลไม้

สูตรที่	อัตราส่วนน้ำผลไม้สด : น้ำ	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ระดับพีเอช
1	1 : 3	10	3
2	1 : 3	10	4
3	1 : 3	10	5
4	1 : 5	8	3
5	1 : 5	8	4
6	1 : 5	8	5

7. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผลการคัดเลือกสูตรน้ำผลผักปลังที่เหมาะสม

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 2) พบว่าน้ำผลผักปลังทั้ง 6 สูตร ได้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำผลผักปลังสูตรที่ 4 มีค่าคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นมากที่สุดเท่ากับ 7.20 และ 6.60 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำผลผักปลังสูตรที่ 2 มีค่าคะแนนความชอบด้านความหวาน, ความเปรี้ยว และความชอบรวมมากที่สุด เท่ากับ 6.78, 6.56 และ 6.78 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้ผู้วิจัยได้เลือกน้ำผลผักปลังสูตรที่ 2 ซึ่งใช้อัตราส่วนของน้ำผลผักปลัง : น้ำ เท่ากับ 1: 3, ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้นเท่ากับ 10 °Brix และปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ไปใช้เป็นสูตรมาตรฐานสำหรับผลิตเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังต่อไป เนื่องจากได้คะแนนความชอบรวมสูงสุด

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษา โดยเติมแบคทีเรียโพรไบโอติก 3 ชนิด ได้แก่ *L. acidophilus* TISTR No. 450, *L. plantarum* TISTR No. 1465 และ *L. casei* TISTR No. 1463 ลงในน้ำผลผักปลังสุกพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 21 วัน ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12, 15, 17, 19 และ 21 ของการเก็บรักษา ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 2 คะแนนความชอบต่อสี กลิ่น ความหวาน ความเปรี้ยว และความชอบโดยรวม ของของน้ำผลผักปลังทั้ง 6 สูตร

คุณลักษณะ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
สี	7.04 ^A ±1.01	7.04 ^A ±0.99	6.20 ^B ±1.85	7.20 ^A ±0.93	6.32 ^B ±1.24	6.20 ^B ±1.31
กลิ่น	6.46 ^A ±1.22	6.34 ^{AB} ±1.00	5.96 ^B ±1.52	6.60 ^A ±1.01	6.50 ^A ±1.30	6.30 ^{AB} ±1.22
ความหวาน	6.52 ^A ±1.07	6.78 ^A ±1.04	5.48 ^C ±1.52	6.66 ^A ±1.12	6.06 ^B ±1.11	4.82 ^D ±1.42
ความเปรี้ยว	5.66 ^B ±1.44	6.56 ^A ±1.42	5.86 ^B ±1.62	5.50 ^{BC} ±1.49	5.94 ^B ±1.45	5.06 ^C ±1.75
ความชอบโดยรวม	6.40 ^{AB} ±1.05	6.78 ^A ±1.17	6.04 ^B ±1.55	6.62 ^A ±1.11	6.16 ^B ±1.08	5.36 ^C ±1.38

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย เครื่องหมายบวกลบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=50) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{A-D} แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 10.00-10.30 °Brix สอดคล้องกับการทดลองของ ศรีสา (2548) ที่พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำผลไม้เสริมโพรไบโอติกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วงการเก็บรักษา โดยน้ำตาลส่วนหนึ่งจะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในการสร้างกรดแลคติกส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากันชนิดของแบคทีเรียโพรไบโอติกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นในวันที่ 17 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix) ของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน

วันที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)		
	<i>L. acidophilus</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. casei</i>
0	10.00 ^{b, NS} ±0.00	10.00 ^{e, NS} ±0.00	10.00 ^{d, NS} ±0.00
3	10.20 ^{a, NS} ±0.00	10.20 ^{ab, NS} ±0.00	10.20 ^{ab, NS} ±0.00
6	10.20 ^{a, NS} ±0.00	10.20 ^{ab, NS} ± 0.00	10.20 ^{ab, NS} ±0.00
9	10.13 ^{a, NS} ±0.12	10.10 ^{cd, NS} ±0.00	10.17 ^{bc, NS} ±0.06
12	10.17 ^{a, NS} ±0.06	10.17 ^{bc, NS} ±0.06	10.17 ^{bc, NS} ±0.06
15	10.20 ^{a, NS} ±0.00	10.13 ^{cd, NS} ±0.12	10.13 ^{bc, NS} ±0.12
17	10.13 ^{a, AB} ±0.06	10.07 ^{de, B} ±0.06	10.20 ^{ab, A} ±0.00
19	10.23 ^{a, NS} ±0.12	10.27 ^{a, NS} ±0.06	10.30 ^{a, NS} ±0.00
21	10.20 ^{a, NS} ±0.00	10.20 ^{ab, NS} ±0.00	10.07 ^{cd, NS} ±0.12

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย เครื่องหมายบวกลบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{a-e} แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{A-B} แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ^{NS} ในแนวนอนหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเครื่องดื่มโพรไบโอติกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.14-4.21 สอดคล้องกับผลการทดลองของ Shah et al. (1995) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของโยเกิร์ตที่มีแบคทีเรียโพรไบโอติก *L. acidophilus* และ *Bifidobacterium* spp. ผสมอยู่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์ โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นโยเกิร์ตจะมีค่าพีเอชลดลง และสอดคล้องกับการศึกษาของ กนกภรณ์ (2557) ที่พบว่าในระหว่างการเก็บรักษา น้ำผักโพรไบโอติกที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน ค่าพีเอชจะลดลง โดยค่าพีเอชที่ลดลงเกิดจากการเก็บรักษาแบบแช่เย็นนั้น แบคทีเรียโพรไบโอติกยังสามารถสร้างกรดแลกติกได้เล็กน้อย จึงส่งผลให้ค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง (Shah et al., 1995) จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของเครื่องดื่มที่เติม *L. plantarum* TISTR No. 1465 และ *L. casei* TISTR 1463 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากันชนิดของแบคทีเรียโพรไบโอติกไม่มีผลต่อค่าพีเอชของเครื่องดื่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน

วันที่	ค่าพีเอช		
	<i>L. acidophilus</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. casei</i>
0	4.21 ^{ns, NS} ±0.01	4.21 ^{a, NS} ±0.00	4.21 ^{a, NS} ±0.00
3	4.19 ^{ns, NS} ±0.00	4.20 ^{b, NS} ±0.01	4.19 ^{ab, NS} ±0.00
6	4.18 ^{ns, NS} ±0.00	4.18 ^{c, NS} ±0.00	4.18 ^{bc, NS} ±0.00

9	4.18 ^{ns, NS} ±0.01	4.18 ^{cd, NS} ±0.01	4.18 ^{c, NS} ±0.01
12	4.17 ^{ns, NS} ±0.01	4.17 ^{de, NS} ±0.00	4.16 ^{de, NS} ±0.01
15	4.16 ^{ns, NS} ±0.01	4.17 ^{e, NS} ±0.01	4.16 ^{de, NS} ±0.01
17	4.15 ^{ns, NS} ±0.01	4.16 ^{e, NS} ±0.01	4.16 ^{de, NS} ±0.01
19	4.15 ^{ns, NS} ±0.01	4.15 ^{f, NS} ±0.01	4.15 ^{e, NS} ±0.00
21	4.14 ^{ns, NS} ±0.01	4.14 ^{g, NS} ±0.00	4.14 ^{f, NS} ±0.01

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย เครื่องหมายบวกกลับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{a-e} แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ^{ns, NS} ในแนวตั้งและแนวนอน ตามลำดับ หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่าปริมาณกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสอดคล้องกับค่าพีเอชที่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งในการทดลองนี้แม้ว่าจะเก็บรักษาเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกที่อุณหภูมิ 5°C แต่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำแบคทีเรียโพรไบโอติกยังคงมีกิจกรรมในการสร้างกรดแลกติกจึงทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น (ศรีสา, 2548; กนกภรณ์, 2557; Shah et al., 1995; Yoon et al., 2004) โดยมีปริมาณกรดอยู่ในช่วง 0.77-1.64 % (w/v) และพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อปริมาณกรดทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากันชนิดของแบคทีเรียโพรไบโอติกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นวันที่ 19 และ 21 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน

วันที่	ปริมาณกรดทั้งหมด (% w/v)		
	<i>L. acidophilus</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. casei</i>
0	0.77 ^{d, NS} ±0.17	0.84 ^{d, NS} ±0.03	0.79 ^{d, NS} ±0.19
3	0.84 ^{d, NS} ±0.17	1.08 ^{c, NS} ±0.08	0.88 ^{d, NS} ±0.06
6	1.18 ^{c, NS} ±0.06	1.20 ^{b, NS} ±0.13	1.19 ^{c, NS} ±0.10
9	1.33 ^{bc, NS} ±0.02	1.34 ^{a, NS} ±0.02	1.35 ^{bc, NS} ±0.16
12	1.35 ^{b, NS} ±0.00	1.35 ^{a, NS} ±0.00	1.43 ^{ab, NS} ±0.13
15	1.40 ^{ab, NS} ±0.03	1.35 ^{a, NS} ±0.00	1.46 ^{ab, NS} ±0.11
17	1.44 ^{ab, NS} ±0.08	1.38 ^{a, NS} ±0.03	1.58 ^{a, NS} ±0.05
19	1.44 ^{ab, B} ±0.08	1.40 ^{a, B} ±0.05	1.61 ^{a, A} ±0.05
21	1.53 ^{a, AB} ±0.00	1.44 ^{a, B} ±0.00	1.64 ^{a, A} ±0.10

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย เครื่องหมายบวกกลับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{a-d} แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{A-B} แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ^{NS} ในแนวนอนหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของเครื่องตีโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุก โดยค่า L^* แสดงถึงความสว่างเมื่อค่าใกล้เคียง 100 และแสดงถึงความมืด เมื่อมีค่าใกล้เคียง 0 โดยพบว่าเครื่องตีมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 6-7 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้ในน้ำผลผักปลังมีสารสีแอนโทไซยานินที่ให้สีม่วงแดงจึงทำให้เครื่องตีมีสีเข้มค่าความสว่างที่วิเคราะห์ได้จึงมีค่าค่อนข้างต่ำ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ ศรีสา ทวีแสง (2548) ที่ทดลองเติมแบคทีเรียโพรไบโอติกลงในน้ำผลไม้พาสเจอร์ไรส์และพบว่าค่าความสว่างของน้ำผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยระยะเวลาในการเก็บรักษาและชนิดของแบคทีเรียโพรไบโอติกไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของเครื่องตีน้ำผลผักปลังพาสเจอร์ไรส์เสริมโพรไบโอติกในระหว่างการเก็บรักษา โดยค่า a^* คือ ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียว $+a$ หมายถึง ความเป็นสีแดง และ $-a$ หมายถึง ความเป็นสีเขียว ผลการทดลองพบว่าค่า a^* มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 21-28 โดยในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาเครื่องตีจะมีค่า a^* อยู่ในช่วง 22-26 และพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อค่า a^* ของเครื่องตีที่เติม *L. plantarum* TISTR No. 1465 และ *L. casei* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยสีแดงที่ปรากฏในน้ำผลผักปลังสุกเกิดจากสารสีแอนโทไซยานินที่ให้สีม่วงแดง และพบว่าชนิดของแบคทีเรียโพรไบโอติกไม่มีผลต่อค่า a^* ในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นวันที่ 21 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของเครื่องตีโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน

วันที่	ค่าความสว่าง (L^*)		
	<i>L. acidophilus</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. casei</i>
0	6.22 ^{ns, NS} ± 0.22	6.38 ^{ns, NS} ± 0.34	6.25 ^{ns, NS} ± 0.37
3	6.48 ^{ns, A} ± 0.15	6.38 ^{ns, A} ± 0.11	6.06 ^{ns, B} ± 0.07
6	6.49 ^{ns, NS} ± 0.54	6.91 ^{ns, NS} ± 0.14	6.12 ^{ns, NS} ± 0.32
9	6.43 ^{ns, NS} ± 0.70	7.04 ^{ns, NS} ± 0.78	6.50 ^{ns, NS} ± 0.58
12	6.51 ^{ns, NS} ± 0.65	6.80 ^{ns, NS} ± 0.67	6.22 ^{ns, NS} ± 0.41
15	6.60 ^{ns, NS} ± 0.67	6.55 ^{ns, NS} ± 0.66	5.88 ^{ns, NS} ± 0.50
17	6.42 ^{ns, NS} ± 0.54	5.93 ^{ns, NS} ± 0.15	6.13 ^{ns, NS} ± 0.38
19	6.57 ^{ns, NS} ± 0.18	6.24 ^{ns, NS} ± 0.08	6.52 ^{ns, NS} ± 0.31
21	6.31 ^{ns, NS} ± 0.22	6.36 ^{ns, NS} ± 0.33	6.15 ^{ns, NS} ± 0.14

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย เครื่องหมายบนวกลบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{A-B} แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$), ^{ns, NS} ในแนวตั้งและแนวนอน ตามลำดับ หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่า a* ของเครื่องตีโปรไบโอติกจากน้ำผลไม้ปลั่งสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน

วันที่	ค่า a*		
	<i>L. acidophilus</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. casei</i>
0	25.20 ^{ns, N} ±2.02	27.72 ^{a, NS} ±0.60	25.67 ^{a, NS} ±2.33
3	24.34 ^{ns, NS} ±1.41	25.33 ^{ab, NS} ±1.43	24.33 ^{ab, NS} ±0.53
6	23.48 ^{ns, NS} ±1.71	21.11 ^{c, NS} ±1.02	22.35 ^{b, NS} ±0.41
9	23.29 ^{ns, NS} ±1.06	23.92 ^{bc, NS} ±1.22	23.75 ^{ab, NS} ±1.09
12	24.05 ^{ns, NS} ±1.71	23.55 ^{bc, NS} ±1.63	23.96 ^{ab, NS} ±0.93
15	24.81 ^{ns, NS} ±2.46	23.19 ^{bc, NS} ±3.12	24.17 ^{ab, NS} ±1.50
17	24.84 ^{ns, NS} ±0.54	23.44 ^{bc, NS} ±1.27	22.47 ^{b, NS} ±1.00
19	24.13 ^{ns, NS} ±0.23	22.39 ^{c, NS} ±0.47	22.06 ^{b, NS} ±1.57
21	24.76 ^{ns, A} ±1.06	23.33 ^{bc, B} ±0.22	22.98 ^{b, B} ±0.51

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย เครื่องหมายบวกลบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{a-c} แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{A-B} แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ^{ns, NS} ในแนวตั้งและแนวนอน ตามลำดับ หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b* ของเครื่องตีโปรไบโอติกจากน้ำผลไม้ปลั่งสุกในระหว่างการเก็บรักษา โดย +b หมายถึง แสดงความเป็นสีเหลือง และ -b หมายถึง แสดงความเป็นสีน้ำเงิน พบว่าค่า b* มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.48-3.55 และพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อค่า b* ของเครื่องตีที่เติม *L. plantarum* TISTR No. 1465 และ *L. plantarum* TISTR No. 1465 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าชนิดแบคทีเรียโปรไบโอติกไม่มีอิทธิพลต่อค่า b* ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 21 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของเครื่องตีโปรไบโอติกจากน้ำผลไม้ปลั่งสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน

วันที่	ค่า b*		
	<i>L. acidophilus</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. casei</i>
0	1.89 ^{c, NS} ±0.54	3.36 ^{a, NS} ±0.42	1.78 ^{ns, NS} ±0.90
3	3.15 ^{a, A} ±0.39	2.38 ^{a, B} ±0.09	2.24 ^{ns, B} ±0.10
6	2.77 ^{ab, A} ±0.51	1.48 ^{b, B} ±0.12	2.47 ^{ns, A} ±0.52
9	3.34 ^{a, NS} ±0.66	2.47 ^{a, NS} ±0.66	2.47 ^{ns, NS} ±0.36
12	2.86 ^{ab, NS} ±0.23	2.77 ^{a, NS} ±0.34	2.47 ^{ns, NS} ±0.45
15	2.38 ^{bc, NS} ±0.45	3.06 ^{a, NS} ±0.82	2.46 ^{ns, NS} ±0.62
17	3.25 ^{a, NS} ±0.19	2.87 ^{a, NS} ±0.38	3.12 ^{ns, NS} ±0.68
19	3.35 ^{a, NS} ±0.18	2.68 ^{a, NS} ±0.18	2.74 ^{ns, NS} ±0.63
21	3.55 ^{a, NS} ±0.23	3.30 ^{a, NS} ±0.71	3.04 ^{ns, NS} ±0.57

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย เครื่องหมายบวกกลม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{a-c} แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{A-B} แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ^{ns, NS} ในแนวตั้งและแนวนอน ตามลำดับ หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 9 แสดงการเหลือรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลไม้ปลั่งสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน ผลการทดลองพบว่าจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกแต่ละชนิดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ข้อมูลไม่ได้แสดง) อย่างไรก็ตาม พบว่าจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เหลือรอดชีวิตของเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลไม้ปลั่งสุกยังคงมีจำนวนสูงกว่าระดับที่กำหนดให้เป็นระดับที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Therapeutic Dose) ซึ่งกำหนดว่าต้องเหลือรอดชีวิตอย่างน้อย 1×10^5 CFU/ml หรือ 5 Log CFU/ml (Lee and Salminen, 1995; Dave and Shah, 1996) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Shah et al. (1995) ที่รายงานว่าจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติก (*L. acidophilus* และ *Bifidobacterium* spp.) มีแนวโน้มลดจำนวนลงเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นานขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ Yoon et al. (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงและการรอดชีวิตของแบคทีเรีย *L. acidophilus* และ *L. delbrueckii* ในน้ำปีทูรในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยพบว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ ศรีสา (2548) ที่ทดลองเติม *L. acidophilus* และ *L. delbrueckii* subsp. *lactis* และเชื้อผสมของแบคทีเรียทั้งสองชนิดในน้ำส้ม, น้ำสับปะรด และน้ำมะเขือเทศพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งการลดลงของจำนวนโพรไบโอติกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5-8 °C) มีสาเหตุมาจากแบคทีเรียโพรไบโอติกสามารถผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกมาซึ่งมีความเป็นพิษต่อเซลล์ของแบคทีเรียโพรไบโอติกเอง จึงส่งผลให้จำนวนของแบคทีเรียโพรไบโอติกลดลง (กนกภรณ์, 2557; ตรี และบวรศักดิ์, 2561; Dave and Shah, 1996) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าชนิดของแบคทีเรียโพรไบโอติกมีอิทธิพลต่อจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกที่รอดชีวิตในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ *L. plantarum* TISTR No. 1465 มีจำนวนเซลล์ที่เหลือรอดชีวิตมากที่สุดเท่ากับ 6.21 Log CFU/ml (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 จำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เหลือรอดชีวิตในเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลไม้ปลั่งสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน

แบคทีเรียโพรไบโอติก	จำนวน (Log CFU/ml)
<i>L. acidophilus</i> TISTR 450	6.21 ^a ± 0.02
<i>L. plantarum</i> TISTR 1465	6.15 ^b ± 0.02
<i>L. casei</i> TISTR 1463	6.15 ^b ± 0.02

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย เครื่องหมายบวกกลม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร ^{a-b} แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

บทสรุป

ผลการคัดเลือกสูตรน้ำผลไม้ปลั่งสุกที่เหมาะสม พบว่าสูตรที่เหมาะสมประกอบด้วยอัตราส่วนของน้ำผลไม้ปลั่ง : น้ำ เท่ากับ 1 : 3, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้นเท่ากับ 10°Brix และปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการเหลือรอดชีวิตของ *L. acidophilus* TISTR No. 450, *L. plantarum* TISTR No. 1465 และ *L. casei* TISTR No.

1463 ที่เติมลงไปใต้น้ำผลผักปลังพาสเจอร์ไรส์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและกายภาพเพียงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การศึกษาการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกในเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากน้ำผลผักปลังสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาพบว่าเครื่องดื่มที่เติม *L. acidophilus* TISTR No. 450 มีจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตมากที่สุดเท่ากับ 6.21 ล็อก โคลนีต่อมิลลิลิตร (Log CFU/ml) ซึ่งเป็นจำนวนมากกว่าระดับที่กำหนดให้เป็นระดับที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Therapeutic Dose) ซึ่งกำหนดว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกต้องเหลือรอดชีวิตอย่างน้อย 1×10^5 โคลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) หรือ 5 ล็อก โคลนีต่อมิลลิลิตร มิลลิลิตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกทั้ง 3 ชนิด สามารถปรับตัวได้ดีใต้น้ำผลผักปลังสุก และพบว่าน้ำผลผักปลังสุกมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มโพรไบโอติก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กนกภรณ์ บำรุงภักดี. (2557). การเหลือรอดของแบคทีเรียโพรไบโอติกในน้ำผักและน้ำผลไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชีนนภา ชัชวาล และนาฏศศิ นวลแก้ว. (2552). ผักปลัง ผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ. การแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 7(2-3): 197-201.
- ตรี วาทกิจ และบวรศักดิ์ สีนานนท์. (2561). การเสริมโพรไบโอติกด้วยเชื้อ *Lactobacillus pentosus* ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหมักจากข้าวไรซ์เบอร์รี่. 3(พิเศษ): 306-311.
- นิธิยา รัตนพานนท์. (2545). เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.
- มนชัย เดชสังกรานนท์, อมรรัตน์ สีสุทอง และณรงค์พันธุ์ รัตนปนัดดา. (2560). การศึกษาเบื้องต้นของการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำผลผักปลังสุก. วารสารก้าวหน้าโลกวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 17(1): 11-36.
- ศรีสา ทวีแสง. (2548). การเหลือรอดชีวิตของเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติกในน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Akhter S., Abdul H., Shawkat I.S., Swapan K.S., Mohammad S.H.C. and Sanjay S.S. (2008). A review on the use of non-timber forest products in beauty-care in Bangladesh. Journal of Forestry Research. 19: 72-78.
- Azeredo H.M.C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability-a review. International Journal of Food Science and Technology. 44: 2365-2376.
- Dave R.I. and Shah N.P. (1996). Evaluation of media for selective enumeration of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* and bifidobacteria. Journal of Dairy Science. 79: 1529-1536.

- Lee Y.K. and Salminen S. (1995). The coming of age of probiotics. Trends in Food Science and Technology. 6: 241-245.
- Rong Q., Cheng H., Huizhang D., Guo Z., Ling Z. and Sheng Y. (2011). Milk consumption and lactose intolerance in adults. Biomedical and Environmental Sciences. 24: 512-517.
- Saikia A.P., Ryakala V.K., Shama P., Goswami P. and Bora U. (2006). Ethnobotany of medicinal plants used by assamese people for various skin ailments and cosmetics. Journal of Ethnopharmacology. 106(2): 149-157.
- Shah N.P., Lankaputhra W.E., Britz M.L. and Kyle W.S. (1995). Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* in commercial yoghurt during refrigerated. International Dairy Journal. 5: 515-521.
- Vanderhoof J.A. (2001). Probiotics: Future directions. Journal of Clinical Nutrition. 73(6): 1152-1155.
- Yoon K.Y., Woodams E.E. and Hang Y.D. (2004). Fermentation of beet juice by beneficial lactic acid bacteria. LWT - Food Science and Technology. 38: 73-75.

Received: March 2, 2023; Revised: August 15, 2023; Accepted: August 25, 2023

การห่อหุ้มโพรไบโอติกแบคทีเรียและการประยุกต์ใช้ในเจลลี่หม่อนอาหารสำหรับผู้สูงอายุ Encapsulation of probiotic bacteria and its application in mulberry jelly as food for elderly

นุจรี สอนสะอาด^{1*} สุพรรณษา บุญตั้ง¹ ศิริพร ห่วงเจริญ¹ วรนิษฐ์ เมืองมาหล้า¹นฤทธิ วาดเขียน¹ และไชยการณ ดำเนินงาม¹Nootjaree Somsaard^{1*}, Supansa Buntang¹, Siriporn Huangcharoen¹, Woranit Muangmala¹,
Narit wardkhean¹ and Chaiyakan Damnoenngam¹¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

*Corresponding Author E-mail Address : Nootjaree46@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมแบคทีเรีย (5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์) และการเติมเม็ดบีดตริงเซลล์แบคทีเรียโพรไบโอติก (5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์) ต่อคุณภาพ ปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติกในเจลลี่หม่อน และอัตราการรอดชีวิตในระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่า การเติมแบคทีเรียโพรไบโอติกในเจลลี่หม่อน และอัตราการรอดชีวิตในระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่า การเติมแบคทีเรียโพรไบโอติกในเจลลี่หม่อน มีผลต่อเนื้อสัมผัส ทำให้ค่าความแข็ง และค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับเจลลี่หม่อนที่เติมแบคทีเรียโพรไบโอติก 10 เปอร์เซ็นต์ ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด การเติมเม็ดบีดตริงเซลล์แบคทีเรียโพรไบโอติกในเจลลี่หม่อนที่ระดับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์พบว่าไม่ทำให้เกิดความแตกต่างด้านค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก ปริมาณน้ำอิสระ (A_w) ค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น และค่าสี อย่างไรก็ตามผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดในเจลลี่หม่อนที่เติมเม็ดบีดตริง 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความชอบปานกลางเท่ากับ 7.00 ± 0.98 และพบจำนวนของแบคทีเรียโพรไบโอติกที่นับได้ เท่ากับ 1.84×10^6 cfu/ml อัตราการรอดชีวิตของโพรไบโอติกแบคทีเรียระหว่างเก็บรักษา 30 วัน พบว่าโพรไบโอติกมีการรอดชีวิตได้นานสูงสุด เป็นเวลา 12 วัน ซึ่งมีอัตราการรอดชีวิตสูง 66 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจะมีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าเจลลี่หม่อนที่ทำการพัฒนามีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้นจากการเติมแบคทีเรียโพรไบโอติกและยังคงปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติกมีชีวิตที่มีประโยชน์ไว้ได้ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายทางการค้าได้ในอนาคต

คำสำคัญ: แอนแคปซูลเลท แบคทีเรียโพรไบโอติก เจลลี่หม่อน แบคทีเรียโพรไบโอติก

Abstract

The objectives of this research were to study the effects of the additions of arrowroot flour (5, 10 and 15%) and of the additions of probiotic-encapsulated beads of 5, 10 and 15% on the quality of the mulberry jelly, as well as total probiotic culture in the jelly products, and its survival rate during the storage. The results showed that the addition of arrowroot flour affected the texture of mulberry jelly with hardness, and the springiness significantly increased ($p < 0.05$). The jelly with the addition of arrowroot at 10% was rated the best for its color, smell, taste, texture, and total acceptance by consumers. The addition of probiotic-encapsulated beads at 5, 10 and 15% in mulberry jelly resulted in non-significant changes in the pH, total acidity (citric acid), water activity (A_w), hardness, springiness, and color values ($p > 0.05$). However, the consumer gave the highest total acceptance mulberry jelly with 10% probiotic-encapsulated beads at the hedonic scale of like-moderately at 7.00 ± 0.98 . The total of probiotics was 1.84×10^6 CFU/ml. The study of the survival of probiotic bacteria in mulberry jelly product in 30 day-storage found that probiotics had the highest survival at 12 days with a survival rate of 66%, and this total probiotic continued to decline over extended storage. The developed mulberry jelly had a higher nutritional value and benefits with the addition of arrowroot flour and was able to maintain the amount of living probiotic bacteria. This provided the possibility to further develop the product commercially.

Keywords: Encapsulate, Probiotic bacteria, Mulberry jelly, Arrowroot flour

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ เนื่องจากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประชากรผู้สูงอายุ โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2563 มีผู้สูงอายุประมาณ 12 ล้านคน คิดเป็นสัดส่วน 18 เปอร์เซ็นต์ ในอนาคตคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 31.28 เปอร์เซ็นต์ ในปี 2583 (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย, 2563) ปัญหาของผู้สูงอายุส่วนมากจะพบปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพหลายอย่าง ได้แก่ การเสื่อมถอยของสุขภาพ การทำงานของต่อมไทรอยด์ที่ช้าลง ทำให้มีน้ำลายออกมาน้อย และมีฟันที่ไม่แข็งแรงทำให้การบดเคี้ยวอาหารที่ไม่ดี และการกลืนที่ลำบากมากขึ้น ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว การพัฒนาอาหารสำหรับผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ และแนวทางการพัฒนาอาหารสำหรับผู้สูงอายุควรเป็นอาหารที่อยู่ในรูปแบบเนื้อสัมผัสเคี้ยวและกลืนง่าย นอกจากนี้ต้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ

แป้งเท้ายายม่อม เป็นแป้งที่ได้จากหัวของเท้ายายม่อม มีอะไมโลส 35.20 เปอร์เซ็นต์ (Sumardiono et al., 2022) ลักษณะของแป้งเป็นผงสีขาวมีเม็ดสีเหลืองเล็ก ๆ เมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำด้วยไฟอ่อนปานกลาง แป้งละลายง่าย สุกง่าย เมื่อสุกแล้วจะใส มีเงาในเนื้อแป้ง เหนียวปานกลาง เมื่อเย็นแล้ว แป้งรวมตัวเป็นก้อน ร่อนออกจากภาชนะได้ดี แป้ง

ทำวยายม่อมจะมีความหนืดมากกว่า และมีคุณสมบัติเด่นคือคืนตัวได้ยาก เป็นแป้งที่ย่อยง่าย ดีต่อระบบย่อยอาหาร จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติที่โดดเด่นทำให้แป้งทำวยายม่อมจึงมีความน่าสนใจที่จะนำมาพัฒนาเป็นอาหารสำหรับผู้สูงอายุ เจลลี่เป็นอาหารที่ทำจากผลไม้ผสมกับสารให้ความหวาน ส่วนผสมของเจลลี่ส่วนหนึ่งที่สำคัญคือ ส่วนประกอบสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาร์ราจีแนน และเพคติน เจลลี่เป็นอาหารที่ทำง่ายรับประทานเป็นของหวาน และมีสีสวยงาม เหมาะกับผู้บริโภคที่มีปัญหาในการเคี้ยว และกลืนอาหารลำบาก เจลลี่ส่วนมากใช้ผลไม้เป็นส่วนผสม และที่นิยมมาก คือผลไม้ในตระกูลเบอร์รี่ชนิดต่างๆ เนื่องจากผลไม้กลุ่มนี้ มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว และมีสีสวยงาม นอกจากนี้ยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารฟีนอล และสารฟลาโวนอยด์ที่ดีต่อสุขภาพของมนุษย์ เหมือนเป็นผลไม้ชนิดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยหม่อนสุกจะมีโปรตีนสูงถึง 1.44 กรัมต่อ 100 กรัมหม่อนสด ซึ่งสูงกว่าผลไม้กลุ่มแบล็คเบอร์รี่และราซเบอร์รี่ ซึ่งมีโปรตีนเพียง 1.3 และ 1.2 กรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ และยังพบว่าหม่อนยังมีกรดอะมิโนที่มีคุณภาพสูงเทียบเท่ากับนมสดถึง 18 ชนิด และมีแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม วิตามินซีสูง วิตามินเอ อี เค และบี6 เป็นต้น เห็นได้ว่าการพัฒนาเจลลี่จากหม่อนจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพผู้สูงอายุ อย่างไรก็ตาม เจลลี่มีสารที่มีประโยชน์จากผลไม้มากมายแต่ก็ยังสามารถพัฒนาให้มีคุณสมบัติมากกว่าเจลลี่ทั่วไปได้โดยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

โพรไบโอติกซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีความสำคัญกับสิ่งมีชีวิต (FAO/WHO, 2002) โดยเป็นจุลินทรีย์ชนิดที่มีประโยชน์ทำให้เกิดสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ และประโยชน์ต่อสุขภาพ ช่วยยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อโรค ย่อยสารอาหารประเภทไขมันในลำไส้เล็ก ป้องกันความผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร แต่ในผู้สูงอายุพบว่า จำนวนแบคทีเรียมีการลดลง เมื่ออายุเพิ่มขึ้น เนื่องจากร่างกาย ระบบการย่อยที่เสื่อมลง ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมีจำนวนลดลงเช่นกัน (Du et al., 2021) ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการนำโพรไบโอติก มาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น โยเกิร์ต และนมเปรี้ยว แบคทีเรียโพรไบโอติกส่วนมากจะเติมลงในผลิตภัณฑ์โดยตรง ซึ่งผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะเกิดการหมักและทำให้มีปริมาณกรดในอาหารเพิ่มขึ้น และเมื่อบริโภคเข้าไปในร่างกายแบคทีเรียโพรไบโอติกยังถูกทำลายโดยระบบการย่อยในกระเพาะอาหาร ทำให้จำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกมีจำนวนลดลง ซึ่งการใช้เทคโนโลยีเพื่อทำให้โพรไบโอติกรอดชีวิตทั้งในผลิตภัณฑ์และจากน้ำย่อยในร่างกายจึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation) เป็นกระบวนการในการดักจับสารชนิดหนึ่ง (วัสดุหลักหรือสารออกฤทธิ์) ไว้ภายในสารอื่น (วัสดุผนัง) เช่น โพลีฟีนอล สี เอนไซม์ สารระเหย และแบคทีเรียในแคปซูลขนาดเล็ก เพื่อรักษาเสถียรภาพ ปกป้อง และรักษาต่อต้านการสูญเสียทางโภชนาการ สำหรับแบคทีเรียโพรไบโอติก เทคโนโลยีการทำเอนแคปซูเลชันเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อการรอดชีวิตของเซลล์ โดยจะช่วยป้องกันเซลล์จากสภาวะแวดล้อม และเพิ่มความคงตัว ช่วยในการเก็บรักษาเซลล์ ช่วยป้องกันการทำลายแบคทีเรียในระบบทางเดินอาหารได้ ซึ่ง Kumherova et al. (2020) รายงานว่า การห่อหุ้มโพรไบโอติกสายพันธุ์ *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 โดยห่อหุ้มร่วมกับกรดแอสคอร์บิก และ สารอินนูลิน ซึ่งผลของการห่อหุ้ม มีผลให้เซลล์มีความสามารถในการต้านทานสภาวะการย่อยในระบบทางเดินอาหารจำลอง ทำให้แบคทีเรียมีความสามารถในการรอดชีวิตได้มากขึ้น และในปัจจุบันได้มีผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการเติมโพรไบโอติกที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีประโยชน์มากขึ้น เช่น ไอศกรีม (Afzaal, 2020) โยเกิร์ต (Chen, 2017)

ดังนั้นผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเจลลี่หมอนสำหรับผู้สูงอายุ โดยศึกษาผลของการเติมแบคทีเรียที่ย่อยนม และการเติมเม็ดบีทรีซเซิลแบคทีเรียโพรไบโอติกที่ระดับปริมาณต่างๆ ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เจลลี่หมอน รวมทั้งศึกษาอัตราการรอดชีวิตของโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์เจลลี่หมอนในระหว่างการเก็บรักษา

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัตถุดิบ และการเตรียมตัวอย่างน้ำหมอนสกัด

ผลหมอนสุก พันธุ์กำแพงแสน 42 จากสวนหมอนสาขาสีทองและการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ วิธีการสกัดน้ำหมอน โดยผลหมอนที่นำมาสกัดจะต้องมีลักษณะผลสีม่วงเข้มนำผลหมอนล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง นำผลหมอนผึ่งให้แห้ง ต้มหมอนเพื่อสกัดน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นกรองแยกกากหมอน นำน้ำหมอนใส่ถุงเย็น 500 กรัม/ถุง เก็บไว้ในอุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้ทดลองต่อไป

2. การเตรียมเจลแบคทีเรียที่ย่อยนม

การเตรียมเจลแบคทีเรียที่ย่อยนม ใช้แป้งยี่ห้อมือ การชั่งแป้งที่ย่อยนม 20 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร คนแป้งให้ละลาย และนำไปให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที คนจนแป้งสุกจะมีลักษณะใส เป็นเนื้อเดียวกัน และเหนียว จากนั้นนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

3. ศึกษาปริมาณของแป้งที่ย่อยนมที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เจลลี่หมอน

ขั้นตอนการทำเจลลี่หมอนดัดแปลงจากสูตร ของวิชฌณี และคณะ (2560) โดยนำน้ำหมอนสกัด ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ปรับความหวานให้ได้ 20°Brix จากนั้นเติมปริมาณเจลาติน ที่ระดับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เติมน้ำแป้งที่ย่อยนมที่ระดับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ต้มต่อ 5 นาที จะได้เจลลี่ที่ลักษณะใส บรรจุเจลลี่ลงในถ้วยพลาสติก แล้วเก็บเจลลี่ที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที นำตัวอย่างเจลลี่หมอนวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

4. ศึกษาปริมาณการเติมเม็ดบีทแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เจลลี่

การเตรียมแบคทีเรียโพรไบโอติก

การเตรียมแบคทีเรียโพรไบโอติก นำแบคทีเรียโพรไบโอติกสายพันธุ์ *Lactobacillus acidophilus* TISTR1034 ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร เลี้ยงในอาหาร Man Rogosa Sharpe (MRS)-broth (ยี่ห้อ Himedia™, India) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง จากนั้นดูดสารละลายแบคทีเรีย 1 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงเซลล์ที่ระดับความเร็วรอบ 4,000 รอบ นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ล้างเซลล์ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ จำนวน 3 ครั้ง วัดค่า OD ที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณแบคทีเรียกรดแลกติก เริ่มต้น ที่ 1×10^6 cfu/ml

การเตรียมเม็ดบีด

การทำเอนแคปซูเลท โดยดัดแปลงวิธีของ นุจรี และคณะ (2563) โดยซิง sodium alginate (ยี่ห้อ KC, China) ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติม sodium alginate 2 กรัม ตั้งทิ้งไว้จนให้ sodium alginate ดูดน้ำสมบูรณ์ นำสารละลายเจลอุ่นบน Hot plate ให้เจลละลายสมบูรณ์ซึ่งมีลักษณะใส ทำให้เย็น จากนั้นผสมเซลล์โพรไบโอติก 1,000 ไมโครลิตร คนให้เข้ากัน หยดลงในสารละลาย calcium lactate เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งให้เจลแข็งตัว 30 นาที นำเม็ดบีดที่ได้มาล้างในน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว จำนวน 2 ครั้ง นำเม็ดบีดเก็บไว้ในสารละลาย sodium chloride 0.85 เปอร์เซ็นต์ ที่การฆ่าเชื้อแล้ว โดยเก็บเม็ดบีดที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส

5. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

นำผลิตภัณฑ์เจลลี่หมอนทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมี ดังนี้ วัดค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจลลี่และเม็ดบีด โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความ analyzer เหนียวแน่น (Cohesiveness) ด้วยเครื่อง Texture analyzer ยี่ห้อ TA-XT plus Texture analyser รุ่น stable micro systems ประเทศอังกฤษ โดยใช้หัววัด P/0.5R ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ความเร็วในการวัด 1 mm/sec จุ่มลงในตัวอย่างเจลลี่ บันทึกค่า หน่วยเป็นนิวตัน วัดค่า 1 ตัวอย่างทำการทดลอง 5 ซ้ำ (กมลพิพัฒน์ และคณะ, 2560) วัดค่าสี โดยนำเจลลี่หมอนมาวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น UltraScan VIS ประเทศไทย โดยค่า L* หรือความหมายสว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว) ค่า a* (+a = สีแดง, -a = สีเขียว) ค่า b* (+b = สีเหลือง, -b = สีนํ้าเงิน) ค่าพีเอช (pH) โดยเครื่อง pH meter รุ่น Sp-2100 ยี่ห้อ SUNTEX วัดค่าปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่อง water activity meter ยี่ห้อ Novasina รุ่น Labmaster-aw “Neo” ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (AOAC, 2000) วิเคราะห์ความชื้น (Moisture) (AOAC, 2000) วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Protein) โดยใช้วิธี Kjeldahl ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ยี่ห้อ Foss รุ่น Kjeltac™ 8100 ประเทศเดนมาร์ก (AOAC, 2005) ปริมาณไขมัน (Lipid) นำเจลลี่หมอนมาวิเคราะห์ไขมัน โดยใช้วิธี Soxhlet (Soxhlet system) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ยี่ห้อ Foss รุ่น ST 243 Soxtec™ ประเทศเดนมาร์ก (AOAC, 2005) วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย ยี่ห้อ Foss รุ่น FT 122 Fibertec™ ประเทศเดนมาร์ก (AOAC, 2005) วิเคราะห์เถ้า (Ash) ด้วยเตาไฟฟ้า (Muffle furnace) ยี่ห้อ Thermolyne รุ่น 4790 ประเทศเยอรมัน (AOAC, 2005) วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยการคำนวณจากคำนวณตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต} = 100 - \text{เปอร์เซ็นต์ของ (ความชื้น + โปรตีน + ไขมัน + เถ้า + เส้นใย)}$$

6. วิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกในเจลลี่หมอน

ซิงตัวอย่างเจลลี่ปริมาณ 25 กรัม ใส่ลงถุง Stomacher (steriblend™, USA) เติมสารละลายเจือจางของโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ ตีปนผสมตัวอย่างให้เข้ากันนาน 3 นาที นำตัวอย่างที่ได้ ทำการเจือจางที่ระดับ 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} และ 10^{-5} ปีเปิดตัวอย่าง ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงจานเพาะเชื้อ บนอาหารแข็ง MRS (ยี่ห้อ Himedia™, India) ทำการ Spread plate และบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่ขึ้นบนอาหาร รายงาน Colony Forming Unit (cfu) ต่อตัวอย่างเจลลี่หมอน 1 กรัม

7. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างเจลลี่หมอนที่เติมแป้งท้าวยายม่อมและเม็ดบีดี้ ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม การให้คะแนนผลิตภัณฑ์ คือ 1= ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ 9=ชอบมากที่สุด

8. อัตราการรอดชีวิตของโฟรไบโอติกในเครื่องดื่มเจลลี่หมอน

นำเจลลี่หมอนที่มีการเติมแบคทีเรียโฟรไบโอติก นำมาบรรจุใส่ถ้วยแก้ว ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส วิเคราะห์อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรีย ในระหว่างการเก็บรักษา ทำการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา ทั้งหมด 1 เดือน

9. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) การยอมรับของผู้บริโภค วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Completely Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan 's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

ผลการวิจัย และการอภิปราย

การใช้แป้งท้าวยายม่อมในผลิตภัณฑ์เจลลี่หมอน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของปริมาณแป้งท้าวยายม่อมในเจลลี่หมอน ที่ระดับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) การเติมแป้งท้าวยายม่อมในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อการลดลงของค่า L^* , a^* และ b^* พบว่าการเติมแป้งท้าวยายม่อมที่ 5 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับการเติมแป้งท้าวยายม่อมที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ดังตารางที่ 1 และนำเจลลี่หมอนวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ผลของการเติมแป้งท้าวยายม่อมในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้เจลลี่หมอนมีค่าความแข็งและความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมแป้งที่เพิ่มมากขึ้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยพบว่า การเติมแป้งท้าวยายม่อม 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งและยืดหยุ่นสูงสุด เท่ากับ 0.66 กับ 0.25 N ตามลำดับ ส่วนค่ากรดต่าง (pH) และค่า A_w ในเจลลี่ที่เติมแป้งท้าวยายม่อมพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อการเติมแป้งในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเจลลี่หมอนที่มีส่วนผสมของปริมาณแป้งเท้ายายม่อม

ค่าวิเคราะห์	ปริมาณแป้งเท้ายายม่อม (เปอร์เซ็นต์)		
	5	10	15
ค่าสี			
L*	22.63±0.32 ^a	19.21±0.17 ^b	18.91±0.06 ^b
a*	0.95±0.13 ^a	0.52±0.11 ^b	0.50±0.05 ^b
b*	0.80±0.29 ^a	0.25±0.22 ^b	0.16±0.04 ^b
ความแข็ง (N)	0.56±0.06 ^b	0.63±0.02 ^{ab}	0.66±0.05 ^a
ความยืดหยุ่น (N)	0.21±0.02 ^b	0.23±0.01 ^{ab}	0.25±0.03 ^a
กรด-ด่าง (pH) ^{ns}	4.40±0.01	4.41±0.02	4.41±0.02
ปริมาณน้ำอิสระ (Aw) ^{ns}	0.98±0.03	0.98±0.01	0.97±0.02
กรดทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	0.01±0.00	0.01±0.01	0.02±0.01

หมายเหตุ: ^{a, b} ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) a, b ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมแป้งเท้ายายม่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี ซึ่งสีที่เปลี่ยนแปลงเป็นผลมาจากลักษณะแป้งเมื่อโดนความร้อนแป้งจะสุกและมีการเปลี่ยนสีจากขาวขุ่นเป็นสีขาวใสมาก นั่นคือลักษณะของการเกิดเจลในแป้ง การที่แป้งใสจะส่งผลต่อการทะลุผ่านของแสงส่งผลให้ค่าของสีของเจลลี่มีการเปลี่ยนแปลงดังผลการทดลอง และจากรายงานของ ปิติพร และคณะ 2546 รายงานว่า คุณสมบัติแป้งเท้ายายม่อมเมื่อทำให้สุกที่อุณหภูมิต่ำในช่วง 69-71°C แป้งที่สุก พบว่า ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและมีอัตราการคืนตัวของแป้งปานกลางเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ซึ่งเมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เหนียวขึ้นขึ้น จึงมีผลทำให้เจลลี่หมอนมีความหนืดเพิ่มขึ้นดังผลการทดลอง ซึ่งโดยทั่วไปแป้งเท้ายายม่อมนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยส่วนมาก ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อให้อาหารมีความข้นหนืด คงตัว และยืดหยุ่น เช่น อุตสาหกรรมบิสกิต เบอ์เกอร์ เค้กต่าง ๆ และยังสามารถนำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพเนื่องจากให้พลังงานต่ำ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเจลลี่หมอนที่มีปริมาณแป้งเท้ายายม่อม 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผลของการเติมแป้งเท้ายายม่อมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนและเส้นใยในเจลลี่หมอนสูงเพิ่มขึ้น พบปริมาณโปรตีนสูงสุดในเจลลี่ที่เติมแป้งเท้ายายม่อม 15 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนและเยื่อใยเท่ากับ 12.36 และ 1.18 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2 ซึ่งการทดลองจะเห็นได้ว่าการเติมแป้งเท้ายายม่อมลงในเจลลี่ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้ ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากโดยแป้งเท้ายายม่อมเป็นแป้งที่มีคุณค่าทางอาหารและสารที่เป็นประโยชน์หลากหลายชนิด และจากรายงานของ Al et al., (2017) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแป้งเท้ายายม่อมที่พบในไนจีเรีย พบปริมาณสารอาหารที่สำคัญหลายชนิดได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เยื่อใย วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ แต่ที่มีปริมาณสูงมากโดยเฉพาะโปรตีน โดยมีปริมาณ 5.49 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มแป้งเท้ายายม่อมลงในเจลลี่หมอนสามารถทำให้เจลลี่หมอนมีคุณค่าโภชนาการเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีในเจลลี่หมอนที่มีการเติมแป้งท้าวยายม่อม

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	แป้งท้าวยายม่อม (เปอร์เซ็นต์)		
	5	10	15
ความชื้น	17.02±6.36 ^a	8.87±4.66 ^{ab}	1.32±1.26 ^b
โปรตีน	5.77±1.56 ^b	10.18±0.19 ^b	12.36±1.85 ^a
ไขมัน ^{ns}	0.03±0.02	0.02±0.00	0.03±0.01
เส้นใย ^{ns}	0.46±0.07	0.61±0.15	1.18±0.36
เถ้า	0.26±0.12 ^b	0.42±0.01 ^a	0.44±0.02 ^a
คาร์โบไฮเดรต ^{ns}	78.93	80.51	80.65
คำนวณพลังงานทั้งหมด (Kcal)	331.01 ^b	362.92 ^{ab}	393.12 ^a

หมายเหตุ: ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

^{a, b} ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale ของเจลลี่ที่เติมแป้งท้าวยายม่อม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ให้คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า การเติมแป้งท้าวยายม่อม 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในเจลลี่หมอน ผู้บริโภคให้การยอมรับความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าทิศทางการพัฒนาเจลลี่หมอนโดยการเติมแป้งท้าวยายม่อมผู้บริโภคมีแนวโน้มความชอบในระดับชอบปานกลาง และหากพิจารณาความชอบ พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนรสชาติและเนื้อสัมผัสของเจลลี่หมอนที่ระดับเปอร์เซ็นต์ของการเติมแป้งท้าวยายม่อมที่ 10 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด คะแนนความชอบ เท่ากับ 7.03 และ 7.23 ซึ่งมีความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง ดังตารางที่ 3 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาจากการทดสอบการยอมรับผู้บริโภคและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้ จึงเลือกเจลลี่หมอนที่มีการเติมแป้งท้าวยายม่อมที่ 10 เปอร์เซ็นต์นำไปศึกษาหาสภาวะปริมาณการเติมแบคทีเรียโพรไบโอติกในขั้นต่อไป

ตารางที่ 3 คะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

ประเมินคุณภาพ	ปริมาณแป้งท้าวยายม่อม (เปอร์เซ็นต์)		
	5	10	15
สี ^{ns}	6.37±1.04	6.83±1.12	6.50±1.07
กลิ่น ^{ns}	6.37±1.32	6.50±1.01	6.20±1.19
รสชาติ ^{ns}	6.67±1.07	7.03±1.13	6.87±1.31
เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.37±1.29	6.53±1.25	6.80±1.24
ความชอบโดยรวม	6.63±1.12 ^b	7.23±1.04 ^a	6.60±1.00 ^b

หมายเหตุ: ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

^{a, b} ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

การเติมเม็ดบีดโพรไบโอติกในเจลลี่หม่อน

ผลการศึกษาปริมาณการเติมเม็ดบีดที่เหมาะสมในเจลลี่หม่อน พบว่า เม็ดบีดก่อนการเติมลงไปเจลลี่หม่อนจะมีสีขาวใส ดังภาพที่ 1(ก) และเมื่อเติมลงไปในเจลลี่และแช่เย็นไว้นาน 90 นาที พบว่าเม็ดบีดที่ได้จะมีสีแดงสดและใสดังภาพที่ 1(ข) และเมื่อพิจารณาผลของการเติมเม็ดบีดในเจลลี่หม่อน ในระดับที่เพิ่มมากขึ้นพบว่าค่าสี L^* , a^* และ b^* ของเจลลี่ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเติมมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเติมเม็ดบีดที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเจลลี่หม่อนสามารถเติมได้จนระดับมากที่สุดที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 สีของเม็ดบีดก่อน (ก) และเม็ดบีดหลัง เติมเจลลี่หม่อน (ข)

ตารางที่ 4 ค่าสีของเจลลี่หม่อนหลังจากการเติมเม็ดบีดในปริมาณ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์

ค่าสี	ปริมาณเม็ดบีด (เปอร์เซ็นต์)			
	0	5	10	15
L^{*ns}	19.55±0.02	19.54±0.02	19.55±0.03	19.55±0.03
a^{*ns}	1.60±0.06	1.60±0.05	1.68±0.09	1.58±0.05
b^{*ns}	0.22±0.02	0.23±0.04	0.22±0.03	0.22±0.03

หมายเหตุ: ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลของการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความยืดหยุ่น และค่าความแข็งของเม็ดบีด โดยวิเคราะห์แยกกันระหว่างเจลลี่และเม็ดบีดที่เติมลงไปจากการทดลองพบว่า การเติมเม็ดบีดในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อคุณสมบัติของค่าความแข็ง และค่าความยืดหยุ่นของตัวเจลลี่และเม็ดบีดที่อยู่ในเจลลี่ซึ่งพบว่า ทุกระดับปริมาณการเติมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเราสามารถเติมเม็ดบีดได้ในระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ก็ไม่มีผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจลลี่ และเม็ดบีดในเจลลี่ ซึ่งจากการทดลองเห็นได้ว่าเทคโนโลยีการกักเก็บสารโดยใช้สารตัวกลางที่มีคุณภาพของโพลิเมอร์สูง ได้แก่ ไฮโดรเจลที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำได้ดี และมีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้ดี ซึ่งไฮโดรเจลจะมีโครงสร้างแบบสามมิติ มีลักษณะเป็นรูพรุน โดยสามารถดูดซับสารบางส่วนได้ และสามารถป้องกันไม่ให้สารข้างในที่ถูกกักเก็บไว้ไหลออกในขณะที่เดียวกับก็ยังสามารถป้องกันไม่ให้สารข้างนอกไหลเข้าไปข้างในเม็ดบีดได้ (Nezamdoost-Sani et al., 2023) จึงไม่ส่งผลให้การเติมเม็ดบีดลงไปเจลลี่ทำให้คุณภาพเนื้อสัมผัสของเนื้อเจลลี่เปลี่ยนแปลงได้ การวิเคราะห์ค่ากรด-ด่าง ปริมาณน้ำอิสระ

และปริมาณกรดในเจลลี่หมอนพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเติมปริมาณเม็ดเงินที่ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างเจลลี่ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ค่าเนื้อสัมผัสของเจลลี่หมอนหลังจากการเติมเม็ดเงินในปริมาณ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์

ประเมินคุณภาพเนื้อสัมผัส(N)			
ความแข็งเจลลี่ ^{ns}	ความแข็งเม็ดเงิน ^{ns}	ความยืดหยุ่นเจลลี่ ^{ns}	ความยืดหยุ่นเม็ดเงิน ^{ns}
0.17±0.04	37.00±8.67	0.07±0.01	42.54±15.36
0.18±0.04	37.21±8.63	0.08±0.01	51.85±17.01
0.17±0.03	36.48±7.48	0.08±0.01	55.87±21.61
0.16±0.03	38.40±7.95	0.07±0.01	54.10±20.33

หมายเหตุ: ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 6 ค่าวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพเคมีของเจลลี่หมอนเติมเม็ดเงินในปริมาณ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์

ประเมินคุณภาพ	ปริมาณเม็ดเงินในเจลลี่หมอน (เปอร์เซ็นต์)			
	0	5	10	15
pH ^{ns}	4.21±0.01	4.28±0.11	4.28±0.01	4.28±0.02
a _w ^{ns}	0.98±0.01	0.98±0.00	0.99±0.00	0.98±0.00
ปริมาณกรดซิตริกทั้งหมด ^{ns}	0.01± 0.00	0.01± 0.00	0.01± 0.01	0.01 ±0.01

หมายเหตุ: ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของปริมาณการเติมเม็ดเงินโปรไบโอติกที่เหมาะสมในเจลลี่หมอน 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ที่ไม่ผ่านการฝึกฝนให้คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในการเติมปริมาณเม็ดเงิน 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในด้านคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส แต่จะพบว่า คะแนนความชอบโดยรวม 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 7.00 ซึ่งมีความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์เจลลี่หม่อน

ประเมินคุณภาพ	เม็ดปีทในเจลลี่หม่อน(เปอร์เซ็นต์)			
	0	5	10	15
สี ^{ns}	6.37±1.19	6.47±1.01	6.43±0.97	6.50±1.11
กลิ่น ^{ns}	6.03±1.03	6.10±1.24	5.83±1.12	6.17±1.19
รสชาติ ^{ns}	6.77±1.05	6.73±1.11	6.70±1.12	6.90 ±1.06
เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.57±1.52	6.53±1.14	6.43±1.07	6.80±1.16
ความชอบโดยรวม	6.43±1.33 ^b	6.73±0.94 ^{ab}	7.00±0.98 ^a	6.57±1.05 ^b

หมายเหตุ: ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

^{a, b} ในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

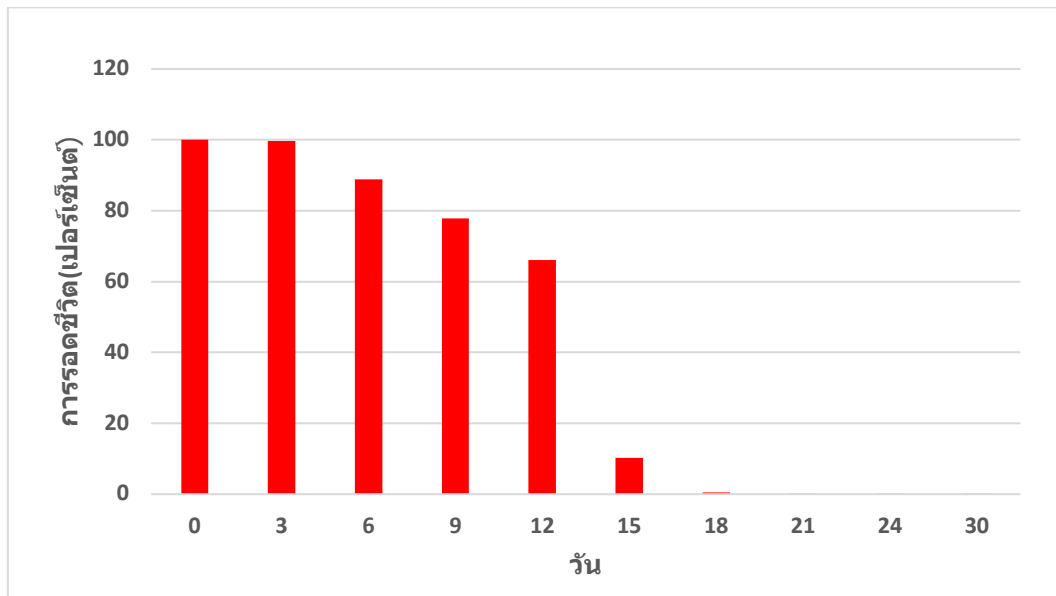
จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติกในเจลลี่หม่อนที่มีการเติมเม็ดปีท ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณของปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติกมีปริมาณสูง เมื่อเพิ่มจำนวนปริมาณเม็ดปีท 5, 10 15 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือเนื่องจาก เจลลี่ที่มีการเติมเม็ดปีทจำนวนมากจึงทำให้ตรวจพบแบคทีเรียซึ่งการทดลองจะพบว่าปริมาณเม็ดปีท 15 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวน แบคทีเรียโพรไบโอติกที่นับได้สูงสุด คือ 2.0×10^6 cfu/ml ซึ่งเปรียบเทียบกับเจลลี่หม่อนที่เติมปีทที่ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนแบคทีเรียเท่ากับ 6.2×10^4 cfu/ml ตามลำดับ การตรวจพบปริมาณแบคทีเรียที่มีปริมาณที่แตกต่างกันเนื่องจาก ปริมาณของแบคทีเรียจะถูกไว้มัดปีทและเมื่อเพิ่มปริมาณปีทที่มากขึ้นก็มีผลทำให้มีปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกในเจลลี่หม่อน

ปริมาณเม็ดปีท(เปอร์เซ็นต์)	จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก(cfu/ml)
0	ไม่พบ
5	6.2×10^4
10	1.8×10^6
15	2.0×10^6

การวิเคราะห์การรอดชีวิตจากการนำเจลลี่หม่อนที่เลี้ยงบนอาหาร MRS Agar และทำการเก็บรักษาเจลลี่หม่อน เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มมากขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกสามารถอยู่ได้นานสูงสุดถึง 12 วัน โดยพบว่ามีอัตราการรอดชีวิตอยู่ที่ 66 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นก็จะลดลงเรื่อย ๆ และต่ำสุด และในวันที่ 30 คาดว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกไม่สามารถทนต่อสภาวะและระยะเวลาในการเก็บรักษาได้ ดังรูปที่ 2 การรอดชีวิตของแบคทีเรียที่อยู่ในสภาวะที่ถูกตรึงทำให้เซลล์ของแบคทีเรียจะรอดชีวิตได้สูงกว่า การเติมเซลล์แบคทีเรียโพรไบโอติกโดยตรง ซึ่งสอดคล้องจากรายงานวิจัยของ นุจรี และคณะ (2563) พบว่า การเติมกล้าเชื้อ หมักไวน์โดยวิธีการตรึงเซลล์ของยีสต์โดยใช้สารห่อหุ้มคืออัลจิเนต พบว่าการหมักไวน์เป็นเวลา 7 วัน มีผลทำให้จำนวนยีสต์ที่

ตรวจนับได้ในไวน์ยังคงมีปริมาณจำนวนที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับไวน์ที่ใช้กล้าเชื้อที่ไม่มีการห่อหุ้ม ซึ่งอธิบายได้ว่า นอกจากผลของการห่อหุ้มจะสามารถปกป้องเซลล์ให้รอดชีวิตจากสภาวะอาหารที่มีกรดสูงและแอลกอฮอล์สูงได้ ยังพบว่า เซลล์ที่ถูกห่อหุ้มจะค่อยๆ ปลดปล่อยออกจากโครงร่างแหสามมิติของอัลจินต เนื่องจากสภาวะของกรดของอาหารและสภาวะ ความร้อนที่เกิดจากการหมักมีผลให้เซลล์ค่อย ๆ ลดปริมาณลงอย่างช้า ๆ เมื่อระยะเวลาหมักที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกในเจลลี่หมอนที่มีระยะเวลาในการเก็บ 30 วัน

บทสรุป

การพัฒนาเจลลี่ที่มีประโยชน์สำหรับผู้สูงอายุ โดยการเติมแบคทีเรียโพรไบโอติก มีผลทำให้เจลลี่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะปริมาณเยื่อใย โปรตีนเพิ่มขึ้น อีกทั้งแบคทีเรียโพรไบโอติกยังสามารถช่วยให้เจลลี่มีความคงตัวและยืดหยุ่นมากขึ้น เจลลี่ที่ได้มีความใสวาว และมีเนื้อสัมผัสที่กลืนง่าย ถูกใจผู้บริโภค ยิ่งไปกว่านั้นการเติมแบคทีเรียโพรไบโอติกในรูปเม็ดบีดียังช่วยให้เจลลี่มีความน่าสนใจและมีประโยชน์มากกว่าเจลลี่ทั่วไป และเทคโนโลยีการทำเอนแคปซูเลชันยังเป็นวิธีการที่ช่วยป้องกันเซลล์จากสภาวะแวดล้อม และเพิ่มความคงตัว ช่วยในการเก็บรักษาเซลล์ในระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น แต่ทั้งนี้ควรมีการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติกในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อที่จะมีปริมาณเพียงพอต่อความมีประโยชน์ และเก็บได้นานมากขึ้นได้อีก ดังนั้นการพัฒนาเจลลี่หมอนที่มีการเติมเม็ดบีดียังมีความน่าสนใจที่ต่อยอดในเชิงพาณิชย์ออกจำหน่ายในท้องตลาด อีกทั้งผลิตภัณฑ์เจลลี่ยังอาหาร ที่ตอบสนองความต้องการและรองรับกับสังคมผู้สูงอายุที่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- กมลพิพัฒน์ ชนะสิทธิ์, ปรัชญา แพนงค และศศิธร ป้อมเชียงพิณ. (2560). ผลิตภัณฑ์น้ำมันมะม่วงหาวมะนาวโห่พาสเจอร์ไรซ์พร้อมดื่มเสริมใยอาหาร. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 5, 99-107.
- นุจรี สอนสะอาด, สุภาพร รัชชี และวิลาวัลย์ เกสร. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการหมักไวน์ลำตวนโดยใช้กล่ำเชื้อแบบตรึงเซลล์. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. (1)1: 46-49.
- มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย (มส.ผส.). (2563). สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2562. สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล. นครปฐม.
- วิชมนิ ยืนยงพุทธกาล. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุจากผลไม้ไทยที่มี องค์ประกอบของสารพรีไบโอติกโดยใช้เยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ. รายงานการวิจัย. การวิจัยมหาวิทยาลัยบูรพา. 177.
- Association of Official Analysis Chemists (AOAC). (2005). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 14th Edited. Washington, DC: USA
- Al O., SO A., CIC. O., Yakubu T., JU I. and VY D. (2017). Root tuber of *Tacca leontopetaloides* L. (kunze) for food and nutritional security. Microbiology: Current Research 2017. 1(1): 7-13.
- Afzaal M., Khan A. U., Saeed F., Arshad M. S., Khan M.A. and Saeed M. (2020). Survival and stability of free and encapsulated probiotic bacteria under simulated gastrointestinal conditions and in ice cream. Food Sciences and Nutrition. 8(3): 1649–1656.
- Chen L., Yang T., Song, Y. Shu G., and Chen H. (2017). Effect of xanthan-chitosan-xanthan double layer encapsulation on survival of *Bifidobacterium* BB01 in simulated gastrointestinal conditions, bile salt solution and yogurt. LWT–Food Science and Technology. 81: 274–280.
- Chiou D. and landrish T.A.G. (2007). Development and characterization of novel nutraceuticals with spray drying technology. Food Engineering. 82(1): 84-91.
- Du Y., Gao Y., Zeng B., Fan X., Yang D., and Yang M. (2021). Effects of anti-aging interventions on intestinal microbiota. Gut Microbes. 13(1): 199-4835.
- FAO/WHO. (2002). Working group report on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food Guidedlines for the evaluation of probiotics in food Report of anoint FAO/WHO working group on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food, London, Ontario, Cannada.
- Kumherova M., Vesela K., Jokesova K., Klojdova I., and Horackova S. (2020). Influence of co-encapsulation of *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis Bb12 with inulin and ascorbic acid on its viability. Czech Journal of Food Sciences. 38(1): 57–62.

- Nezamdoost-Sani N., Khaledabad M., A., Amiri S., and Khanegha A.M. (2023). Alginate and derivatives hydrogels in encapsulation of probiotic bacteria: An updated review. Food Bioscience. 52:102433.
- Sumardiono S., Jos B., Antoni M.F.Z., and Handayani N.A.H. (2022). Physicochemical properties of novel artificial rice produced from sago, arrowroot, and mung bean flour using hot extrusion technology. Heliyon. 69-89.
- Zuitam N.J. and Shimoni E. (2010). Overview of microencapsulates for use in food Products or Processes and Methods to make Them In encapsulation Technologies for. Active Food Ingredients and Food Processing. Springer, NY.

- Silk coated zinc oxide pillared montmorillonite dyeing with natural dyes from riceberry leaves
Surapee Senkram, Sudaporn Tangkawanit and Preecha Moonsin
- Essential oils distillations from *Limnophila aromatica* (Lam.) Merr., *Alpinia malaccensis*, *Zanthoxylum limonella* Alston and *Kaempferia galanga* for use as ingredients in the perfumery industry
Namphon Pipatpaiboon, Nirut Onsalung, Somporn Hongkong, Suriya Chokphoemphun, Watcharayut Lumdoun and Surachet Srichamnan
- Wireless Power Transmission Demonstration Kit
Boontan Sanannamnak, Adisorn Nuanon, Sarayuth Sawadwongchai, Wantana Sukmanee, Boonyung Singjareang, Santi Sakaw and Phongsakorn Torrobram
- Assessment of the genetic relationship of aromatic rice using SCoT molecular marker
Walailuk ThungKhoon, Pattarawarin Phosri and Pattama Srinamngoen
- Feasibility study on using hard resin of 'Ton Jik' Taengwood balau tree (*Shorea Obtusa* Wall) with multilayer plastic film as materials of ethanol vapor-controlled release sachets in active packages.
Hathaiphon Kampawong, Rittirong Pruthtikul and Weerawate Utto
- Development of smart mushroom farm to increase the efficiency and value of mushrooms by using smartphone control for community enterprises in mushroom farming
Tanaporn Payomma and Somsin Wangkhuntod
- Electric pneumatic hemostatic machine press system
Ronnayut Nonpala, Kittiwath Jeebkaew and Kiattipong Chaitamat
- Different plant extracts against the early blight (*Alternaria solani*) on tomato (*Solanum lycopersicum*)
Sreynich Eam, Pengly Koun, Socheath Ong, Socheath Tong, Borarin Buntong and Nongnid Prachaiboon
- Quality changes of probiotic beverages from ripe ceylon spinach (*Basella alba* Linn.) juice during storage
Monchai Dejsungkranont, Wipa Tupchiangmai and Sakchai Yordmeeklin
- Encapsulation of probiotic bacteria and its application in mulberry jelly as food for elderly
Nootjaree Sonsaard, Supansa Buntang, Siriporn Huangcharoen, Woranit Muangmala, Narit Wardkhean and Chaiyakan Damnoenngam