



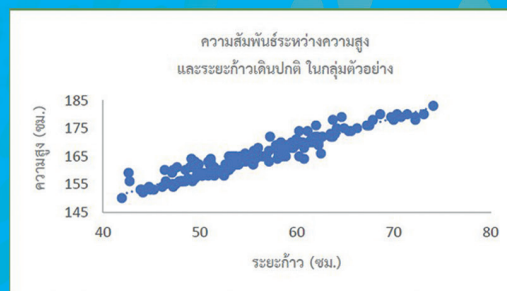
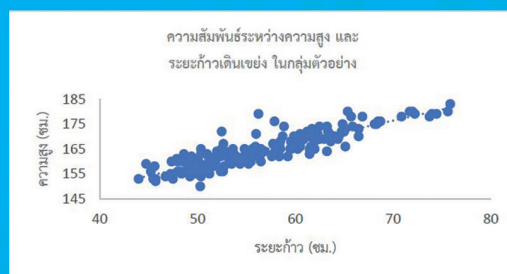
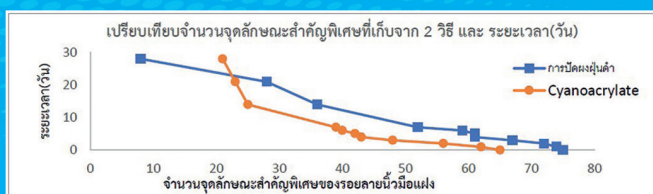
วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ISSN 1906-1889

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565 Vol. 15 No. 2 July - December 2022



จริยธรรม/จรรยาบรรณวารสาร

ผู้แต่ง (Authors)

1. ผู้แต่งต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยนำเสนอในรูปแบบรายงานการประชุม (Proceedings) หรือได้รับการตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน รวมทั้งการไม่อยู่ระหว่างการส่งหรือรอเพื่อการตีพิมพ์บทความ
2. ผู้แต่งต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดของวารสาร ตามคำแนะนำของรายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ มิฉะนั้นทางบรรณาธิการวารสารจะไม่รับพิจารณาบทความนั้น ๆ
3. บทความต้องนำเสนอรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูลหรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
4. ผู้แต่งต้องไม่นำผลงานของผู้อื่นมาอ้างเป็นผลงานของตนเอง โดยบทความต้องมีการอ้างอิงอย่างถูกต้อง หากมีการนำผลงานผู้อื่นมาอ้างอิง และจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงของผู้นั้นในรายการอ้างอิงท้ายบทความด้วย
5. ผู้แต่งที่มีชื่อปรากฏในบทความ จะต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง และผู้แต่งจะต้องระบุการไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน (กรณีที่เกี่ยวข้องต่อการส่งบทความ)
6. ผู้แต่งต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัยในกิตติกรรมประกาศ

บรรณาธิการวารสาร (Editors)

1. มีหน้าที่พิจารณารูปแบบความครบถ้วนและคุณภาพของบทความ ก่อนเริ่มกระบวนการประเมินเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่รับผิดชอบ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความและการตีพิมพ์วารสารฉบับนั้น ๆ
2. เป็นผู้ประเมินเบื้องต้นในการตัดสินใจคัดเลือกบทความเข้าสู่กระบวนการประเมินบทความ และตัดสินใจรับตีพิมพ์โดยพิจารณาจากผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งนี้บรรณาธิการวารสารจะต้องคำนึงถึงความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหา กับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
3. บรรณาธิการวารสารจะไม่รับตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่จากที่อื่นมาแล้ว ทั้งในรูปแบบของวารสารหรือบทความหลังการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการฉบับเต็ม (Proceedings) และต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่ยอมรับในทางวิชาการ และกรณีตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการวารสารต้องติดต่อผู้นิพนธ์หลักเพื่อขอคำชี้แจง และหากไม่มีข้อชี้แจงตามหลักวิชาการ บรรณาธิการจะ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
4. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือเพียงด้วยข้อสงสัยความไม่แน่ใจ จนกว่าจะมีหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยเหล่านั้น
5. บรรณาธิการวารสารจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนใด ๆ กับผู้นิพนธ์ ผู้ประเมินบทความ และทีมผู้บริหาร

ผู้ประเมินบทความ (Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้นิพนธ์ เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่จะทำให้ผู้ประเมินไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะได้อย่างอิสระ ซึ่งหากมีกรณีดังกล่าวผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลใด ๆ ของบทความและผู้นิพนธ์แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
2. ผู้ประเมินบทความ ควรมีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาของบทความที่ประเมิน โดยพิจารณาจากเนื้อหาของบทความ และการประเมินบทความโดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน ความสอดคล้องของเนื้อหา และความเข้มข้นของบทความ ไม่ใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับมาเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจบทความ
3. ผู้ประเมินบทความสามารถเสนอแนะผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้นิพนธ์ไม่ได้อ้างถึงเข้าไปในการประเมินบทความได้ นอกจากนี้ หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนหรือความซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ โดยมีหลักฐานชัดเจน ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ



วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565 Vol.15 No.2 July - December 2022

Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

ISSN 1906-1889

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



วัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นสื่อ รวบรวมเผยแพร่งานวิจัยด้าน (1) วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้มีการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลงานของงานวิจัยสู่ระดับมาตรฐานสากล
3. เสริมสร้างให้เกิดผลงานวิจัยใหม่ ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทย

ผู้จัดพิมพ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กำหนดการเผยแพร่

ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็บไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การเผยแพร่

มอบให้หน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ และเผยแพร่ในเว็บไซต์ ThaiJO

สำนักงาน

สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5

เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510

โทรสาร 0-3835-8142

E-mail : journal2rmutto@gmail.com



ชลกิจการพิมพ์

47 ถ.ศรีราชานคร 1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 038-324711 E-mail : chonlakit555@hotmail.com

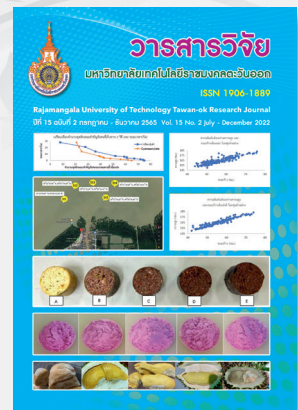
วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565

Vol. 15 No. 2 July - December 2022

ISSN 1906-1889



เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ฤกษ์ชัย พุประทีปศิริ

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า สุนเนอ์

ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร

รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง

รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ

รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ

รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู

รศ.ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภิตติพิชญ์

รศ.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สิน พันธุ์พินิจ

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า สุนเนอ์

ศ.ดร.เสาวภา อังสุภาณิช

ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร

ศ.ดร.สุวัจน์ ธีรุต

ศ.ดร.สนั่น จอกลอย

รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง

รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ

รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ

รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู

รศ.ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภิตติพิชญ์

รศ.ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย

ม.เกษตรศาสตร์

สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์

ม.สงขลานครินทร์

ม.ขอนแก่น

มทร.ศรีวิชัย

ม.ขอนแก่น

ม.สงขลานครินทร์

มจพ.

ม.สุโขทัยธรรมาธิราช

ม.เชียงใหม่

ม.ราชภัฏลำปาง

มทร.ธัญบุรี

ม.บูรพา

บรรณาธิการ

รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

สพญ.ดร.มนัน ชาญนำสิน

อ.ดนุชาวัฒน์ สุวรรณศิลป์

ผศ.พรทิพย์ พรสุริยา

ผลงานวิจัยหรือบทความที่ปรากฏในวารสารนี้เป็นแนวคิดและความรับผิดชอบของผู้เขียน ไม่ใช่แนวคิดของคณะผู้จัดทำ กองบรรณาธิการ ไม่สงวนสิทธิ์ในการคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจาก วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 ประกอบด้วยบทความวิจัยที่น่าสนใจและมีประโยชน์ทางด้านวิชาการ ทั้งในทางด้านเกษตรศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร นิติวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยได้ผ่านการตรวจพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิประจำของวารสารฯ ที่ตรงกับสาขาวิชาของบทความวิจัย สำหรับบทความวิจัยที่ลงตีพิมพ์ในฉบับนี้มาจากหลากหลายสาขาวิชา และหลากหลายหน่วยงาน จึงขอเชิญชวนคณาจารย์และนักวิจัยที่สนใจได้ส่งบทความวิจัยมาลงตีพิมพ์เผยแพร่ ซึ่งในปัจจุบันมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งสำหรับคณาจารย์ที่อยู่ในระดับอุดมศึกษาที่ต้องมีผลงานทางวิชาการตีพิมพ์เผยแพร่ ตลอดจนนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจบการศึกษาได้

ทางวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาในการตรวจประเมินแก้ไขบทความวิจัย คณาจารย์และนักวิจัยที่ได้ส่งบทความวิจัยมาลงตีพิมพ์เผยแพร่ และผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดเตรียมต้นฉบับทุกท่าน จนทำให้วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สารบัญ

หน้า

ผลของการทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไส้วุ้น.....	1
รุ่งทิพย์ รัตนพล พงษ์เทพ เกิดเนตร และ น้ำฝน ชูพูล	
การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประสาทสัมผัสของสาโทข้าวเหนียว	9
ประภาพันธ์ ศิริจันทร์แสง วรณวิสา งามทวี และ พนิชา บุญโกลม	
ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือกับจุดดัดลักษณะสำคัญพิเศษของ รอยลายนิ้วมือแฉงบงพลาสติกซีปล็อก ด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate	19
กมลรส ลีลิตธรรม และ นพรุจ ศักดิ์ศิริ	
ปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตร	29
กาญจนาวรรณ วินิจพิทยากุล และ ชมพูนุช พ่วงทรัพย์สิน	
คุณภาพน้ำและความหลากหลายของแพลงก์ตอนในแหล่งเลี้ยงหอย บริเวณปากน้ำกะแดะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	39
บุญยณัฐ สุขศิริณ กัณทิมาศ บุญอยู่ วิจารณ์ นวลช่วย และ นรนนท์ ขำณัฏ	
ทุเรียน : ราชแห่งผลไม้กับคุณประโยชน์ด้านสุขภาพ	48
รวินิภา ศรีมูล	
สัดส่วนที่เหมาะสมของกัมอาร์บิกและมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณภาพเครื่องดื่มลูกหว้าผง ที่ผลิตด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย	55
สุนทรณ์ พักเฟื่อง	
การพยากรณ์ความสูงของบุคคลจากระยะก้าวเดินปกติและเดินเขย่ง	63
บุญยพร ตระกูลศีลธรรม และ นพรุจ ศักดิ์ศิริ	
การบูรณาการภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพ สำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม.....	74
ยิ่งยง รุ่งฟ้า วุฒิชัย ยิ่งสว่าง และ พรชัย อัจฉริยเมธากร	

ผลของการทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไส้อั่ว

Effect of Chicken Meat Substitution with Chicken Blood on The Characteristics of The Northern Thai Spicy Sausage (Sai Aua)

รุ่งทิพย์ รัตนพล* พงษ์เทพ เกิดเนตร และ น้ำฝน ชูพูล

Rungtip Rattanapona*, Pongthep Kertnat and Namfon Chupool

หลักสูตรสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ สาขาคหกรรมศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

Food and Nutrition Program, Department of Home Economics, Faculty of Liberal Arts,

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000, Thailand

*E-mail: rungtip.r@rmutsv.ac.th; Tel.081-9901017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรพื้นฐานของไส้อั่ว เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไส้อั่วจากเลือดไก่ สร้างมูลค่าเพิ่มและใช้ประโยชน์จากเลือดไก่ในผลิตภัณฑ์ไส้อั่ว โดยการหาปริมาณที่เหมาะสมของเลือดไก่เพื่อทดแทนเนื้อไก่ 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของเนื้อไก่ วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้อั่วที่พัฒนาได้ พบว่า สูตรที่ 3 (ดัดแปลงจาก Luangvaree *et al.*, 2016) ได้รับคัดเลือกเป็นสูตรพื้นฐานของไส้อั่ว เนื่องจากมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และรสชาติสูงสุด ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ ไส้อั่วทดแทนเลือดไก่ร้อยละ 50 มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 8.23, 8.25, 8.25, 8.45 และ 8.58 ตามลำดับ ลักษณะผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มอมแดง มีค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 13.12 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 3.97 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 1.85 ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) เท่ากับ 7.59 กิโลกรัมแรง นอกจากนี้ พบว่าปริมาณเลือดไก่มีผลต่อคุณลักษณะของไส้อั่ว โดยเมื่อปริมาณเลือดไก่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ลดลง ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ความแน่นเนื้อ (firmness) และคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะมีค่าเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ไส้อั่วที่ได้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 61.05-61.48 และค่า water activity (a_w) เท่ากับ 0.96-0.97

คำสำคัญ : เลือดไก่ เนื้อไก่ ไส้อั่ว คุณลักษณะ

Abstract

This research aimed to formulate the Northern Thai spicy sausage (Sai Aua) for prototype product (Sai Aua with chicken blood) development, value-added and utilize chicken blood in the sausage (Sai Aua). The substitution of chicken blood at the level of 0, 20, 30, 40 and 50% by weight of chicken meat was carried out. The physical, chemical and sensory characteristics of the sausage were investigated. The results found that the 3rd formula (modified from Luangvaree *et al.*, 2016) was used for basic sausage formulation. It had the highest liking scores in term of color, odor and taste ($p \leq 0.05$). Moreover, the sausage using 50% of chicken blood had the highest liking scores ($p \leq 0.05$) in terms of color, odor, taste, texture and overall liking. There were 8.23, 8.25, 8.25, 8.45 and 8.58 points, respectively. The color value as lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) were 13.12, 3.97 and 1.85, respectively. The firmness value was 7.59 kilograms force. Moreover, the chicken blood substitution level affected the characteristics of the sausage. An increasing of chicken blood decreased the lightness (L^*) and yellowness (b^*) of product ($p \leq 0.05$). Whereas the redness (a^*), firmness value

and overall liking scores were increased. The product moisture content was 61.05-61.48%, and water activity (a_w) was 0.96-0.97.

Keywords : Chicken blood, Chicken meat, The Northern Thai spicy sausage (Sai Aua), Characteristic

1. บทนำ

ไส้อั่ว จัดเป็นไส้กรอกชนิดบดหยาบ ซึ่งเป็นอาหารพื้นเมืองภาคเหนือของประเทศไทย และเป็นที่ยอมรับสำหรับนักท่องเที่ยวอย่างแพร่หลาย (Phrompichai, 1999) ไส้อั่วมีส่วนผสมหลัก คือ เนื้อสัตว์ เครื่องเทศ และสมุนไพร มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ร้อยละ 16.17 และไขมัน ร้อยละ 37.40 (Bureau of Nutrition, 2018) ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปเนื้อไก่สดสำหรับการบริโภคมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้น โดยไทยเป็นผู้นำการผลิตเนื้อไก่อันดับ 8 ของโลก ในปี 2564 ไทยผลิตเนื้อไก่และผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.91 (Department of Trade Negotiations, 2021) โดยชิ้นส่วนที่มีราคาและมียอดขายสูงจะเป็นส่วนนอกไก่ สะโพก น่อง และปีก ในขณะที่ในกระบวนการแปรรูปไก่ นั้น มีเลือดไก่เป็นผลพลอยได้ (byproduct) จากกระบวนการแปรรูปที่เกิดขึ้นและมีปริมาณมาก ประมาณ 64,000 ตันต่อปี (Yongsawatdigul and Chitsomboon, 2021) ซึ่งส่วนใหญ่มีการนำเลือดไก่มาจำหน่ายในรูปแบบเลือดไก่แห้งสูงสำหรับประกอบอาหาร และมีเลือดไก่ส่วนหนึ่งที่ผู้ประกอบการต้องทิ้งเป็นของเสีย และสูญเสียรายได้จากการทิ้งส่วนเลือดดังกล่าว ทั้งนี้ เลือดไก่อุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ โปรตีน ร้อยละ 75 ไขมัน ร้อยละ 0.6 และเถ้า ร้อยละ 12 (Yongsawatdigul and Chitsomboon, 2021) จากรายงานการวิจัยด้านการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์พลอยได้ในอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ เช่น เลือดสัตว์ พบว่า การใช้พลาสมาจากเลือดสุกร ร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักเนื้อในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก สามารถลดการสูญเสียน้ำระหว่างการทำให้สุก (Jantawat *et al.*, 1996) นอกจากนี้ การใช้ผงเลือดไก่ ร้อยละ 1 และพลาสมาผงร้อยละ 2 ในการผลิตไส้กรอก จะทำให้ไส้กรอกมีเนื้อสัมผัสที่ดี และมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด (Vongsawasdi and Nopharatana, 2003) Carolina *et al.* (2018) พบว่าการใช้โปรตีนจากเลือดไก่ทดแทนโปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไม่มีผลกระทบต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และไส้กรอกมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไส้กรอกไก่เชิงการค้าของประเทศสเปน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเป้าสร้างมูลค่าเพิ่มและใช้ประโยชน์จากเลือดไก่ในผลิตภัณฑ์ไส้อั่ว โดยการหาปริมาณที่เหมาะสมของเลือดไก่ (เลือกไก่สุก) เพื่อทดแทนเนื้อไก่ วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้อั่วที่พัฒนาได้ เพื่อเป็นการเพิ่มความหลากหลายของกลุ่มผลิตภัณฑ์ไส้อั่ว และใช้ผลพลอยได้จากการแปรรูปไก่ให้เกิดประโยชน์

2. วิธีการทดลอง

2.1 การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของไส้อั่วไก่

ทำการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของไส้อั่วไก่จาก 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 (ดัดแปลงจาก Wattanapakaseam *et al.*, 2020) สูตรที่ 2 (ดัดแปลงจาก Somthawil, 2012) และสูตรที่ 3 (ดัดแปลงจาก Luangvaree *et al.*, 2016) ซึ่งมีส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 1 นำส่วนผสมมาวัดผสมให้เข้ากันและเนื้อมีลักษณะเหนียว จากนั้นบรรจุลงในไส้เทียมมัดด้วยเชือกเป็นท่อน นำไปอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 20 นาที จากนั้นกลับด้านของไส้อั่วและอบที่อุณหภูมิเดิม 10 นาที

2.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการสุ่มตัวอย่างไส้อั่วไก่เพื่อประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยคะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (untrained panel) จำนวน 30 คน เป็นนักศึกษาหลักสูตรสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เพศชายและเพศหญิง อายุระหว่าง 19-23 ปี และเป็นผู้มีสุขภาพดี ไม่มีประวัติแพ้อาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง ทั้งนี้ ไส้อั่วไก่

สูตรที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด จะถูกคัดเลือกเป็นสูตรพื้นฐาน เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.3 การเตรียมเลือดไก่

นำเลือดไก่ที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีการนึ่ง จากโรงเชือดและแปรรูปไก่ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา มีลักษณะเป็นก้อน ขนาด 200 กรัมต่อก้อน มาปั่นด้วยเครื่องปั่น จนกระทั่งเลือดไก่มีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด เก็บตัวอย่างระหว่างการศึกษาคืออุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.4 การหาปริมาณเลือดไก่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ไส้วุ้น

จากสูตรพื้นฐานของไส้วุ้นที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.1 ทำการศึกษาระดับการทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ (เลือดไก่สุก) ที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 20, 30 และ 50 โดยน้ำหนักของเนื้อไก่ จากนั้นประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยใช้ผู้ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (untrained panel) จำนวน 30 คน เป็นนักศึกษาหลักสูตรสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เพศชาย และเพศหญิง อายุระหว่าง 19-23 ปี และเป็นผู้มีสุขภาพดี ไม่มีประวัติแพ้อาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง จากนั้นคัดเลือกสูตรไส้วุ้นที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสูงสุด

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของไส้วุ้นไก่สูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม (ร้อยละ)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
เนื้อไก่	87.03	82.03	84.12
ซีอิ๊วขาว	0.87	1.07	-
เกลือ	1.09	1.39	0.84
น้ำตาล	1.09	1.07	0.42
ใบมะกรูด	1.09	1.39	2.21
รากผักชี	0.22	0.25	-
พริกแห้ง	0.44	1.39	1.05
ตะไคร้	1.75	2.21	6.78
หอมแดง	1.97	2.46	1.20
กระเทียม	1.75	2.21	0.75
ขมิ้น	0.55	0.66	0.23
ข่า	0.66	0.82	0.23
กะปิ	1.09	1.39	0.45
เมล็ดผักชี	-	-	-
ผิวมะกรูด	-	-	0.45
ผงชูรส	-	1.06	0.42
พริกป่น	-	-	-
น้ำปลา	-	1.64	0.84

หมายเหตุ: สูตรที่ 1 (ดัดแปลงจาก Wattanapakaseam *et al.*, 2020) สูตรที่ 2 (ดัดแปลงจาก Somthawil, 2012) และสูตรที่ 3 (ดัดแปลงจาก Luangvaree *et al.*, 2016)

2.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้วุ้น

วิเคราะห์คุณลักษณะของไส้วุ้น ได้แก่ ค่าสี โดยเครื่องวัดค่าสี (Color Flex EZ) รุ่น Hunter Lab รายงานเป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) และเนื้อสัมผัส โดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัดชนิด Knife edge blade (HDP/BS) รายงานค่าในรูปของค่า firmness มีหน่วย

เป็นกิโลกรัมแรง (kg force) ปริมาณความชื้น และค่า water activity (a_w) ตามวิธี AOAC (1999)

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design จำนวน 3 ซ้ำ สำหรับการประเมินลักษณะทางกายภาพ-เคมีของไส้อั่ว และการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (SPSS Inc., U.S.A.)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของไส้อั่ว

ผลการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของไส้อั่ว จำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 (ดัดแปลงจาก Wattanapakaseam *et al.*, 2020) สูตรที่ 2 (ดัดแปลงจาก Somthawil, 2012) และสูตรที่ 3 (ดัดแปลงจาก Luangvaree *et al.*, 2016) โดย การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า คะแนนความชอบของไส้อั่วทั้ง 3 สูตร ในคุณลักษณะด้านสีและเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีอยู่ในช่วง 7.87-8.13 คะแนน (ระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก) และด้านเนื้อสัมผัส 7.47-7.73 คะแนน (ระดับชอบปานกลาง) อย่างไรก็ตาม พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของไส้อั่วทั้ง 3 สูตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยไส้อั่วสูตรที่ 3 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด (ระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก) เนื่องจากสูตรที่ 3 มีส่วนผสมของผิวมะกรูด ในขณะที่สูตรที่ 1 และ 2 ไม่มีส่วนผสมของผิวมะกรูด ซึ่งส่งผลให้กลิ่นของไส้อั่วมีกลิ่นหอมสมุนไพรมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ไส้อั่วไก่ สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีปริมาณส่วนผสมส่วนใหญ่ที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้มีกลิ่นรสที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ พบว่าผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับไส้อั่วสูตรที่ 3 มีรสชาติกลมกล่อม กลิ่นหอมเครื่องเทศ และเผ็ดในระดับพอดี จึงส่งผลให้คะแนนความชอบด้านรสชาติของไส้อั่วสูตรที่ 3 มีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบมาก ดังนั้น จึงคัดเลือกไส้อั่วสูตรที่ 3 เป็นสูตรพื้นฐานในการพัฒนาสูตรไส้อั่วทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดต่อไป

ตารางที่ 2 คะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสของไส้อั่วสูตรพื้นฐาน 3 สูตร

สูตร	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส				
	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบโดยรวม
1	7.87±0.75	7.33±1.09 ^{ab}	7.60±1.35 ^b	7.47±1.36	7.80±0.71 ^{ab}
2	7.70±1.18	7.27±1.36 ^b	7.03±1.25 ^b	7.67±0.96	7.60±0.72 ^b
3	8.13±0.63	7.90±0.96 ^a	8.27±0.74 ^a	7.73±1.08	8.07±0.87 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแถวแนวดิ่งเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษร a, b,... แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

3.2 คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้อั่วที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่

คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้อั่วที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ (เลือดไก่สุก) ในระดับ ร้อยละ 0, 20, 30, 40 และ 50 แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า คุณลักษณะด้านสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของไส้อั่วสูตรควบคุม (เนื้อไก่ ร้อยละ 100) มีค่าสูงที่สุด โดยค่า L^* เท่ากับ 28.88 และค่า b^* เท่ากับ 12.41 นอกจากนี้ พบว่า ค่า L^* และ a^* มีค่าลดลง เมื่อปริมาณเลือดไก่เพิ่มขึ้น โดยไส้อั่วที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ ร้อยละ 50 มีค่า L^* และ b^* ต่ำที่สุด เท่ากับ 13.12 และ 1.85 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเลือดไก่เพิ่มขึ้น ไส้อั่วที่ทดแทนเลือดไก่ ร้อยละ 50 มีค่า a^* สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อไก่มีสีชาวมเหลือง

ในขณะที่เลือดไก่มีสีน้ำตาลอมแดง โดยลักษณะสีน้ำตาลอมแดงเกิดจากกรังควัตถุที่มีชื่อว่า denatured methemoglobin (Vongsawasdi and Nopharatana, 2003) จึงส่งผลให้ไส้อ้วที่ทดแทนด้วยเลือดไก่ (สีน้ำตาลอมแดง) มีสีเข้มกว่าสูตรควบคุม (สีเหลืองอ่อน) และการเพิ่มปริมาณเลือดไก่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอมแดงเข้มมากขึ้น สอดคล้องกับลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ไส้อ้วที่แสดงดังภาพที่ 1 นอกจากนี้ ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้อ้ว ซึ่งแสดงผลในรูปของค่าความแน่นเนื้อ (firmness) พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของไส้อ้วที่ทดแทนเลือดไก่ที่ร้อยละ 40 และ 50 มีค่าสูงสุด ($p \leq 0.05$) ส่วนไส้อ้วสูตรควบคุม (เนื้อไก่ ร้อยละ 100) มีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับไส้อ้วที่มีส่วนผสมของเลือดไก่ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Vongsawasdi and Nopharatana (2003) พบว่า การเติมเลือดผงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกส่งผลต่อความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนจากเลือดทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการจับไขมันและน้ำดีขึ้น จึงทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่า firmness ของไส้อ้วที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ปริมาณแตกต่างกัน

อัตราส่วนระหว่างเนื้อไก่ต่อเลือดไก่ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าสี			ค่า firmness (kg force)
	L^*	a^*	b^*	
100:0 (ชุดควบคุม)	28.88±0.12 ^a	2.38±0.21 ^c	12.41±0.23 ^a	4.23±0.06 ^d
80:20	16.40±0.14 ^b	2.40±0.07 ^c	3.83±0.05 ^b	5.13±0.26 ^c
70:30	14.85±0.09 ^c	2.48±0.01 ^c	3.37±0.04 ^c	6.30±0.04 ^b
60:40	13.48±0.15 ^d	2.92±0.01 ^b	2.24±0.01 ^d	7.48±0.17 ^a
50:50	13.12±0.17 ^e	3.97±0.08 ^a	1.85±0.12 ^e	7.59±0.04 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลักษณะของไส้อ้วที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ปริมาณแตกต่างกัน 5 ระดับ แสดงดังภาพที่ 1 พบว่าไส้อ้วทุกชุดการทดลองมีลักษณะปรากฏด้านสีที่แตกต่างกัน คือ ไส้อ้วชุดควบคุม (ร้อยละ 0) มีลักษณะสีเหลืองอ่อน สอดคล้องกับค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไส้อ้วที่วัดได้ สำหรับไส้อ้วชุดควบคุมมีค่า L^* (ความสว่าง) และค่า b^* (ความเป็นสีเหลือง) สูงกว่าไส้อ้วที่ทดแทนด้วยเลือดไก่ ในขณะที่ไส้อ้วที่ทดแทนด้วยเลือดไก่ ร้อยละ 20 มีสีน้ำตาลอมแดง และสีเหลืองอ่อนปนเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มเป็นสีน้ำตาลอมแดงเข้มมากขึ้น เมื่อระดับการทดแทนเลือดไก่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ไส้อ้วที่ทดแทนด้วยเลือดไก่ ร้อยละ 50 มีสีน้ำตาลอมแดงเข้มมากที่สุด สอดคล้องกับค่า L^* และ b^* ที่ต่ำที่สุด และค่า a^* (ความเป็นสีแดง) สูงที่สุด



ภาพที่ 1 ลักษณะของไส้อ้วที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ (A) ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), (B) ร้อยละ 20, (C) ร้อยละ 30, (D) ร้อยละ 40 and (E) ร้อยละ 50

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่า water activity (a_w) ของผลิตภัณฑ์ไส้อ้วที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ (เลือดไก่สุก) ในระดับร้อยละ 0, 20, 30, 40 และ 50 แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณความชื้นของไส้อ้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเลือดไก่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกับ ค่า a_w โดยค่า a_w ของไส้อ้วทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง

0.96-0.97 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเลือดไก่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเลือดไก่มีลักษณะเป็นของเหลวมีปริมาณความชื้นสูง จึงส่งผลต่อปริมาณความชื้นในไส้วุ้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Vongsawasdi and Nopharatana (2003) รายงานว่า การสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับของเลือดไก่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มระดับโปรตีนที่เหมาะสมจะทำให้เกิดชั้นฟิล์มบาง ๆ ล้อมรอบหยดน้ำมันที่ถูกอิมัลซิไฟต์ไว้ไม่ให้เกิดการรวมตัวกันใหม่ ส่งผลให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้นและช่วยให้น้ำที่อยู่ในรูปน้ำอิสระ (free water) กลายเป็นน้ำที่ถูกตรึง (bound water) นอกจากนี้ปริมาณความชื้นและค่า a_w สามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยอาหารที่มีค่า a_w มากกว่า 0.85 จัดเป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย และส่งผลให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สั้นลง จึงควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไส้วุ้นที่อุณหภูมิต่ำ (แช่เย็นหรือแช่แข็ง) จะสามารถช่วยยืดอายุการเก็บได้นานยิ่งขึ้น (Luangvaree *et al.*, 2016)

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้นและค่า water activity (a_w) ของไส้วุ้นที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ปริมาณแตกต่างกัน

อัตราส่วนระหว่างเนื้อไก่ต่อเลือดไก่ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	Water activity (a_w)
100:0 (ชุดควบคุม)	61.06±0.06 ^b	0.96±0.00 ^b
80:20	61.05±0.03 ^b	0.96±0.01 ^{ab}
70:30	61.47±0.03 ^a	0.96±0.00 ^b
60:40	61.48±0.04 ^a	0.97±0.01 ^{ab}
50:50	61.46±0.02 ^a	0.97±0.00 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.3 ผลของการทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ในผลิตภัณฑ์ไส้วุ้นต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

จากการศึกษาผลของการทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ (เลือดไก่สุก) ในผลิตภัณฑ์ไส้วุ้นต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส โดยการทดแทนเลือดไก่ในปริมาณร้อยละ 0, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของเนื้อไก่ แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของไส้วุ้นทดแทนเลือดไกร้อยละ 50 มีคะแนนสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ คะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติของไส้วุ้นที่ทดแทนเลือดไก่ในปริมาณร้อยละ 20, 30 และ 40 ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (เนื้อไก่ ร้อยละ 100) แสดงให้เห็นว่าระดับการทดแทนเลือดไก่ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ในขณะเดียวกันพบว่าระดับการทดแทนเลือดไก่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบด้านสีและเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมีความสอดคล้องกับค่า firmness (ตารางที่ 3) โดยค่า firmness ของไส้วุ้นทดแทนเลือดไก่ในปริมาณร้อยละ 50 มีค่าสูงที่สุด จึงส่งผลให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการทดแทนเลือดไกร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อของไส้วุ้นที่เพิ่มขึ้น เมื่อระดับการทดแทนเลือดไก่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนจากเลือดไก่อมีบทบาทในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ จึงทำให้ความสามารถในการจับไขมันและน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อของไส้วุ้นเพิ่มขึ้น และคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้พบว่าปริมาณเลือดไก่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อปริมาณความชื้น และค่า a_w ของไส้วุ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำและโปรตีนจากเลือดไก่ และส่งผลให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติเพิ่มขึ้น อีกทั้ง คะแนนความชอบด้านสี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับการทดแทนเลือดไก่เพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์กับค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไส้วุ้นที่วัดได้ โดยไส้วุ้นที่ทดแทนด้วยเลือดไก่ในปริมาณสูงที่สุด (ร้อยละ 50) มีค่า a^* (ความเป็นสีแดง) สูงที่สุด เท่ากับ 3.97 ค่า L^* (ความสว่าง) และค่า b^* (ความเป็นสีเหลือง) ต่ำที่สุด เท่ากับ 13.12 และ 1.85 ตามลำดับ ซึ่งลักษณะสีของไส้วุ้นมีสีน้ำตาลอมแดง ในขณะที่ไส้วุ้นชุดควบคุม (ร้อยละ 0) มีสีเหลืองอ่อน จึงอาจทำให้ผู้ทดสอบมีความชอบต่อสีของไส้วุ้นที่ทดแทนด้วยเลือดไก่ที่สูงกว่า

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสของไส้วุ้นที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ปริมาณแตกต่างกัน

อัตราส่วนระหว่างเนื้อไก่ต่อเลือดไก่ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
100:0 (ชุดควบคุม)	7.23±0.89 ^c	7.23±0.95 ^b	7.55±0.75 ^b	7.58±0.84 ^c	7.65±1.00 ^b
80:20	7.60±0.98 ^{bc}	7.30±0.94 ^b	7.43±1.08 ^b	7.48±0.82 ^c	7.83±1.08 ^b
70:30	8.00±0.00 ^{ab}	7.43±0.96 ^b	7.68±0.92 ^b	7.68±0.66 ^{bc}	8.00±0.75 ^b
60:40	7.80±1.07 ^b	7.63±1.21 ^b	7.73±0.91 ^b	7.95±0.68 ^b	8.13±1.18 ^b
50:50	8.23±1.07 ^a	8.25±0.98 ^a	8.25±1.17 ^a	8.45±0.85 ^a	8.58±1.03 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4. สรุปผล

ผลการทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ในผลิตภัณฑ์ไส้วุ้นที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณเลือดไก่ (เลือดไก่สุก) ในไส้วุ้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของเนื้อไก่ มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยลักษณะไส้วุ้นที่ได้มีสีน้ำตาลอมแดง ค่าสีในรูปของค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำกว่าไส้วุ้นสูตรควบคุม (เนื้อไก่ ร้อยละ 100) ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความแน่นเนื้อ (firmness) สูงกว่าสูตรควบคุม นอกจากนี้ การทดแทนเนื้อไก่ด้วยเลือดไก่ในระดับที่สูงขึ้น (ไม่เกินร้อยละ 50) ไม่ส่งผลกระทบต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส และคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส แสดงให้เห็นว่าสามารถนำเลือดไก่ทดแทนเนื้อไก่ในผลิตภัณฑ์ไส้วุ้นได้ และเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเลือดไก่และเพิ่มมูลค่าให้กับผลพลอยได้จากการแปรรูปเนื้อสัตว์

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ และผู้ทรงคุณวุฒิในหลักสูตรอาหารและโภชนาการ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะเพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณนักศึกษาและนักวิทยาศาสตร์ที่มีส่วนร่วมในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Association of Official Chemists (AOAC). 1999. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists International. Washington.
- Bureau of Nutrition. 2018. **Food composition table of Thai foods**. Department of Health, Bangkok. (in Thai)
- Carolina E.D.O., R. Diane, G. Iloir, V. Eunice, P. Marshall, F.S. Marceli, V. Felipe, L.P. Giovanni and V.T. Marcus. 2018. **Formulation of chicken sausages with broiler blood proteins and dye**. J. Food. Sci. Technol. 55(11): 4694-4699.
- Department of Trade Negotiations. 2021. **Production, marketing and retail data of chicken meat in Thailand**. Department of Trade Negotiations, Bangkok. (in Thai)
- Jantawat, P., N. Chinprahast and D. Kristavee. 1996. **Functional property of stored dried porcine plasma powder and its effect on sausage quality**. Asean. Food. J. Vol. 11(2): 69-73.

- Luangvaree, P., Y. Suwannarat, T. Chimliang and T. Supakitjanon. 2016. **Study of meat types on herbal Sai Oua for health**. Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi. (in Thai)
- Phrompichai, R. 1999. **Sai Aua**. Thailand Culture Encyclopedia Foundation. Bangkok. (in Thai)
- Somthawil, S. 2012. **Development of reduced fat Thai Northern style sausage and shelf life extension**. Master degree thesis. Department of Agro-Industrial Product Development, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)
- Vongsawasdi, P. and M. Nopharatana. 2003. **Effect of chicken blood and plasma powder on qualities of emulsion sausage**. KMUTT R&D J. 26(3): 351-366. (in Thai)
- Wattanapakaseam, A., P. Kassakul and B. Pinna. 2020. **Processed meat products**. Department of Food Technology, Maejo University Phrae campus, Phrae. (in Thai)
- Yongsawatdigul, J. and B. Chitsomboon. 2021. **Production of antioxidant peptides from chicken blood**. Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima. (in Thai)

(Received: 2/Jun/2022, Revised: 14/Nov/2022, Accepted: 19/Nov/2022)

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประสาทสัมผัสของสาโทข้าวเหนียว

The Study of Chemical Properties and Sensory Test of Sato

(Glutinous Rice Wine)

ประภาพันท์ ศิริขันธ์แสง วรณวิสา งามทวี และ พนิชา บุญโกมล

Prapaparn Sirikhansaeng*, Wanwisa Ngamtavee and Panicha Boonkomol

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

Biology Program, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

*E-mail: prapaparn.sk@bru.ac.th โทร. 044-611221 ต่อ 6222

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประสาทสัมผัสของสาโทข้าวเหนียว 3 ชนิด คือ ข้าวเหนียว กข.6 ข้าวเหนียวนางนวล และข้าวเหนียวลิ้มผัว โดยใช้ลูกแป้ง 10 กรัม ต่อข้าว 3 กิโลกรัม และผ่านน้ำโดยการเติมน้ำต้มสุกที่เย็นแล้ว ปริมาตร 1.50 ลิตรต่อข้าว 1 กิโลกรัม จากการศึกษาการหมักสาโทเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด คือ 2.00-28.30 องศาบริกซ์ ปริมาณแอลกอฮอล์ 0.85-7.90 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร น้ำตาลรีดิวซ์ 0.19 ± 0.03 - 1.79 ± 0.16 กรัมต่อลิตร น้ำตาลทั้งหมด 0.06 ± 0.01 - 1.65 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ปริมาณกรดทั้งหมด 1.50 ± 0.00 - 11.50 ± 0.57 กรัมต่อลิตร จากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) พบว่า ในข้าวเหนียว กข. 6 ข้าวเหนียวนางนวล และข้าวเหนียวลิ้มผัว มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 23.98 ± 5.48 - 39.68 ± 1.23 61.99 ± 2.17 - 87.51 ± 0.28 และ 59.92 ± 4.91 - 88.58 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ การทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ค่าคะแนนความชอบโดยรวมของสาโทข้าวเหนียว กข. 6 สาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโท ข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าเท่ากับ 6.27 ± 4.86 6.17 ± 4.25 และ 7.80 ± 4.84 คะแนนตามลำดับ ซึ่งสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าคะแนนมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลจากการทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของสาโทข้าวเหนียวทั้ง 3 ชนิดมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

คำสำคัญ : สาโทข้าวเหนียว ข้าวเหนียว กข.6 ข้าวเหนียวนางนวล ข้าวเหนียวลิ้มผัว

Abstract

The research objective aimed to examine chemical properties and a sensory test on rice wine from Glutinous rice RD. 6, Nang Nual glutinous rice, Leum Pua glutinous rice by using 10 grams of Look-pang (mixed culture) with three kilograms of rice added to 1.50 liters of water for each kilogram of rice. After seven days, the total soluble solid was between 2.00-28.30°Brix. The alcohol content ranged from 0.85 to 7.90% (v/v), reducing sugar was between 0.19 ± 0.03 to 1.79 ± 0.16 g/l, total sugar ranged from 0.06 ± 0.01 to 1.65 ± 0.01 g/l, and total acidity ranged from 1.50 ± 0.00 to 11.50 ± 0.57 g/l. DPPH radical scavenging activity of rice wine from Glutinous rice RD. 6, Nang Nual glutinous rice and Leum Pua glutinous rice were between 23.98 ± 5.48 to 39.68 ± 1.23 , 61.99 ± 2.17 to 87.51 ± 0.28 and 59.92 ± 4.91 to $88.58 \pm 0.10\%$, respectively. The average scores for overall preference of rice wine from Glutinous rice RD. 6, Nang Nual glutinous rice and Leum Pua glutinous rice was 6.27 ± 4.86 , 6.17 ± 4.25 and 7.80 ± 4.84 , respectively. The overall preference of rice wine samples was not significantly different at the 95% confidence ($p \geq 0.05$).

Keywords : Sato (glutinous rice wine), Glutinous rice RD.6, Nang Nual glutinous rice, Leum Pua glutinous rice

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าชนิดหนึ่ง (Graminaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. จัดเป็นอาหารหลักของประชากรโลก โดยเฉพาะในทวีปเอเชียจะมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ปลูกข้าวมากเป็นอันดับต้นของเอเชีย และยังเป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ของโลก โดยข้าวที่ปลูกในประเทศไทยจัดอยู่ใน Indica Type มี 2 ชนิด คือ ข้าวเจ้า (Rice, Ordinary rice) และข้าวเหนียว (Glutinous rice, Sticky rice) ซึ่งข้าวแต่ละพันธุ์จะมีคุณภาพและคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามปริมาณอะไมโลสและอายุของข้าว สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute : IRRI) แบ่งข้าวออกเป็น 4 ประเภท ตามปริมาณอะไมโลส คือ 1) อะไมโลสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในประเภทข้าวเหนียวเมื่อสุกจะเหนียวมาก 2) อะไมโลสต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ หรือข้าวอะไมโลสต่ำ ข้าวสุกนุ่มค่อนข้างเหนียว 3) อะไมโลส 10-25 เปอร์เซ็นต์หรือข้าวอะไมโลสปานกลาง ข้าวสุกค่อนข้างร่วนนุ่ม และ 4) อะไมโลสมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์หรือข้าวอะไมโลสสูง ข้าวสุกจะร่วนแข็ง โดยข้าวเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกาย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และวิตามิน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการค้นพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกจะช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น เนื่องจากมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดจะสามารถพบได้เฉพาะในเมล็ดข้าวเท่านั้น ส่วนสารประกอบฟลาโวนอยด์มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการเกิดโรคเบาหวาน โดยเฉพาะข้าวเหนียวเก่าหรือข้าวเหนียวที่มีสีดำจัดเป็นข้าวที่มีลักษณะพิเศษ คือมีองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานินที่เป็นรงควัตถุที่พบบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งรงควัตถุนี้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ช่วยต้านอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ มีฤทธิ์การต้านเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งแอนโทไซยานินยังมีบทบาทต่อระบบหลอดเลือดและเกล็ดเลือดอีกด้วย ซึ่งนอกจากนำมาบริโภคเป็นอาหารหลักแล้วยังสามารถนำข้าว มาแปรรูปเป็นอาหารว่างหรือขนมขบเคี้ยว เช่น นางเล็ด ข้าวแต่น ข้าวเม้าทอดข้าวเหนียวแดง ข้าวเกรียบว่าว เป็นต้น หรือนำมาแปรรูปเป็นแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารหรือผลิตภัณฑ์ชนิดเส้น เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว เส้นกวยจั๊บ เส้นกวยเตี๋ยว เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำข้าวมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มหมักพื้นบ้านซึ่งเกิดจากภูมิปัญญาของชาวบ้านที่มีมาเป็นเวลายาวนาน โดยมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแต่ละท้องถิ่น เช่น สาโท น้ำแดง น้ำขาว กระแช่ อุ เป็นต้น โดยสาโทจัดอยู่ในกลุ่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดไวน์ข้าว (Rice wine) มีรสชาติดหวาน (Techavasonyoo, 2007; Thongta and Yongsawatdigul, 2011; Buathong and Maisont, 2016; Yamuangmorn and Prom-u-thai, 2016; Sirikhansaeng et al., 2017)

สาโทหรือไวน์ข้าวของไทยจัดเป็นสุราแช่ตามความหมายในพระราชบัญญัติสุรา พ.ศ. 2492 มาตรา 4 (Techavasonyoo, 2007) ซึ่งให้คำนิยามว่า “สุราแช่” หมายถึงสุราที่ไม่ได้กลั่น และให้ความหมายรวมถึงสุราแช่ที่ได้ผสมกับสุรากลั่นแล้ว แต่ยังมีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรี คำว่าแรงแอลกอฮอล์ (Alcohol strength) หมายถึง ดีกรีหรือหน่วยวัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในสุรา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งไวน์ข้าวจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามความใสของผลิตภัณฑ์ คือ 1) Alcoholic Beverage เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีลักษณะใส ได้แก่ สาเก และ Shao-Shin-Chu เป็นต้น และ 2) Miscellaneous Alcoholic Drinks เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีลักษณะขุ่น เนื่องจากจุลินทรีย์และของแข็งที่เหลือตกค้างอยู่ ได้แก่ Tapuy Baside Tapay Amazake และสาโท เป็นต้น ในประเทศไทยการผลิตสาโทจะทำการในครัวเรือนหรือทำเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ผลิตจากข้าวเหนียวขาวหรือข้าวเหนียวดำโดยใช้กลั่นเชื้อแห้งที่เรียกว่าลูกแป้ง ซึ่งลูกแป้งจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแต่ละประเทศ เช่น ประเทศจีน เรียกว่า Chu ประเทศเกาหลี เรียกว่า Nuruk ประเทศญี่ปุ่น เรียกว่า โคจิ (Koji) ประเทศฟิลิปปินส์ เรียกว่า Bubod เป็นต้น โดยการผลิตสาโทมีขั้นตอนการหมักดังนี้ เริ่มจากแช่ข้าวเหนียวเป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวเหนียวมานึ่งให้สุก

เมื่อข้าวเหนียวสุกให้นำมาผึ่งให้เย็นแล้วจึงนำไปล้างอย่างข้าวออกให้หมด ทิ้งไว้ให้แห้ง นำมาคลุกเคล้ากับลูกแป้ง ซึ่งในลูกแป้งจะมีส่วนผสมของข้าว เชื้อจุลินทรีย์ และสมุนไพร แล้วหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 10-14 วัน จะได้สาโทที่มีลักษณะใสหรือขุ่น ในประเทศไทยนิยมใช้ข้าวเหนียวขาวหรือข้าวเหนียวดำเป็นวัตถุดิบมากกว่าข้าวเจ้า เนื่องจากข้าวเหนียวให้กลิ่นและรสชาติดีกว่า และเชื้อจุลินทรีย์ในลูกแป้งสามารถย่อยแป้งข้าวเหนียวได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้า เชื้อจุลินทรีย์สำคัญที่พบในลูกแป้งได้แก่ รา ยีสต์ และแบคทีเรียแลคติก (*Sirikhansaeng et al.*, 2017; *Sirisantimethakom et al.*, 2008) ถึงแม้ว่าสาโทจะมีการผลิตมาเป็นเวลานาน แต่ก็ยังมีการผลิตเพื่อจำหน่ายในวงจำกัด ซึ่งอาจจะเกิดจากการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น รสชาติหวานไป เปรี้ยวไป และยังขาดการปรับปรุงพัฒนาด้านกลิ่นและรสชาติ (*Buathong and Maisont*, 2016) จากที่มีการนำข้าวเหนียวมาใช้ในการผลิตสาโทในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แต่การผลิตยังไม่ได้มาตรฐาน และมีการค้นพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าว โดยเฉพาะข้าวเหนียวดำหรือข้าวเหนียวที่มีสีดำนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาการหมักสาโทจากข้าวเหนียว 3 ชนิด คือ ข้าวเหนียว กข. 6 ข้าวเหนียวนางนวล และข้าวเหนียวลิ้มผัว และศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสาโทเพื่อเป็นการส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว

2. วิธีการทดลอง

2.1 การหมักสาโทจากข้าวเหนียว

ทำการหมักสาโทโดยนำข้าวเหนียวทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวเหนียว กข. 6 ข้าวเหนียวนางนวล และข้าวเหนียวลิ้มผัว มาแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างให้สุก เมื่อข้าวสุกให้นำไปผึ่งจนเย็นแล้วจึงนำไปล้างอย่างข้าวออกด้วยน้ำสะอาดจนหมดอย่างข้าว นำลูกแป้งที่บดเตรียมไว้มาโรยลงบนข้าว (*Sirikhansaeng et al.*, 2021) โดยใช้ลูกแป้งจากร้านฮงไถ่ จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งจะใช้อัตราส่วนลูกแป้ง 2 ก้อน (10 กรัม) ต่อข้าว 3 กิโลกรัม เมื่อหมักจนถึงวันที่ 3 จึงเติมน้ำต้มสุกที่เย็นแล้วลงไปให้อัตราส่วนข้าวเหนียว 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 1.50 ลิตร โดยค่อย ๆ เติมลงในถังหมักเบา ๆ เพื่อไม่ให้ก้อนข้าวแตก จากนั้นปิดฝาและหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน (รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 10 วัน) โดยมีการลวกฆ่าเชื้อถึงพลาสติกที่ใช้ในการหมักก่อนที่จะนำข้าวลงบรรจุภายในถัง

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีระหว่างการผลิตหมักสาโท

ในระหว่างการผลิตหมักสาโทจะเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีระหว่างการผลิต โดยวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

2.2.1 วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid, TSS)

วิเคราะห์ TSS ด้วย Hand refractometer โดยใช้หลอดหยดดูดสารตัวอย่างที่ต้องการวัดหยดลงบนแผ่นปริซึม 1-2 หยด ปิดฝาครอบ และอ่านค่าตรงระดับเส้นรอยต่อที่ตัดกับพื้นสีฟ้า (*Sirikhansaeng et al.*, 2021)

2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์

วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ (Ebulliometer) โดยการหาจุดเดือดของน้ำกลั่นเปรียบเทียบกับจุดเดือดของสาโท (*Amatayakul et al.*, 2012)

2.2.3 วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Somogyi-Nelson

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยการเตรียมสารละลาย Somogyi I Somogyi II และสารละลาย Nelson โดยตัวอย่างสาโทที่นำมาวิเคราะห์จะทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงเจือจางตัวอย่างสาโทแต่ละชนิดโดยใช้น้ำกลั่น ปิเปตสารตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเติมสารละลายผสม Somogyi (Somogyi I : Somogyi II ในอัตราส่วน 4 ต่อ 1) 2 มิลลิลิตร ปิดปากหลอดทดลองด้วยลูกแก้วเพื่อลดการระเหยของน้ำ แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการต้มไปแช่ในอ่างน้ำแข็ง เติมสารละลาย Nelson ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที เติมน้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร โดยเทียบกับ

แปลงค์ อ่านค่าความเข้มข้นของกลูโคสจากกราฟมาตรฐาน (Glucose anhydrous) โดยทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (Nelson, 1944; Somogyi, 1952)

2.2.4 วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธีฟีนอลซัลฟูริก (Phenol-Sulphuric)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยเจือจางสาโทด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปิเปตตัวอย่างสาโท ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จำนวน 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมสารละลาย แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงไป ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ผสมให้เข้ากัน อีกครั้งโดยใช้เครื่องผสมสารละลายอีกครั้งแล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร อ่านค่า ความเข้มข้นของกลูโคสจากกราฟมาตรฐาน (Glucose) โดยทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (Dubois *et al.*, 1956)

2.2.5 วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดด้วยวิธีการไทเทรต

วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในสาโทแต่ละตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำโดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล แล้วนำปริมาตรสารละลายที่ได้จากการไทเทรตไปคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมด (Nuanpeng, 2018)

2.3 การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการ DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)

ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสาโทด้วยวิธีการ DPPH (ดัดแปลงจาก Siritrakulsak *et al.*, 2013) โดยใช้เมทานอลในการเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ จากนั้นปิเปตสาโท ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย DPPH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้โทรลอกซ์เป็นมาตรฐาน จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (% DPPH radical scavenging activity)

2.4 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

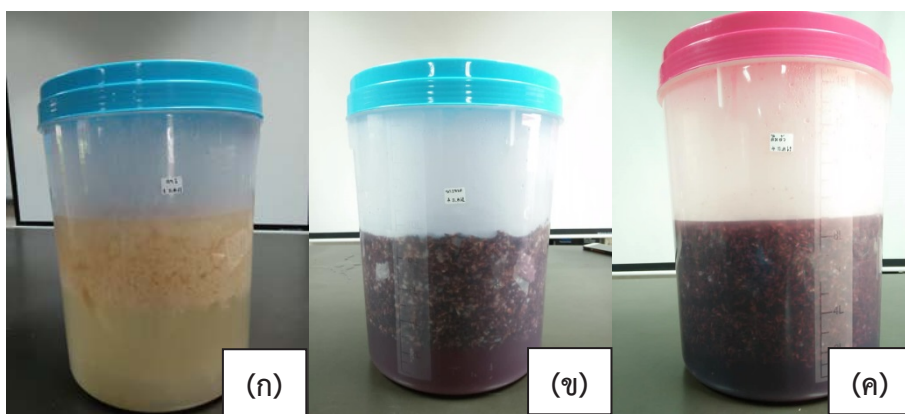
เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะทำการทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ ความชอบโดยรวมของสาโททั้ง 3 ชนิด ซึ่งจะให้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 25 คน ที่สามารถรับประทานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ได้ ทั้งเพศชายและหญิง โดยมีอายุอยู่ระหว่าง 20-35 ปี และให้คะแนนตามความชอบของผู้ทดสอบชิม โดยใช้ระบบ 20 คะแนน (20-Point-Wine) ความใส ช่วงคะแนน 0 (ไม่ใส) - 2 (ใสเป็นประกายมองเห็นแก้ว) สี ช่วงคะแนน 0 (สีขาวซีด/สีแดงจืด) - 2 (สีตามสายพันธุ์) กลิ่น ช่วงคะแนน 0 (กลิ่นผิดปกติ/ไม่พึงประสงค์) - 4 (กลิ่นหอมชวนดม/ประทับใจมาก) รสชาติ ช่วงคะแนน 0 (ผิดปกติ/ความเปรี้ยว ผาด ขม หวานเกินควร) - 12 (เข้มข้นและประทับใจอย่างยิ่ง) (Danvirutai and Laopaiboon, 2006) แล้วนำผลการทดสอบไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Duncan's Multiple Range Tests (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS IBM Statistics 25

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

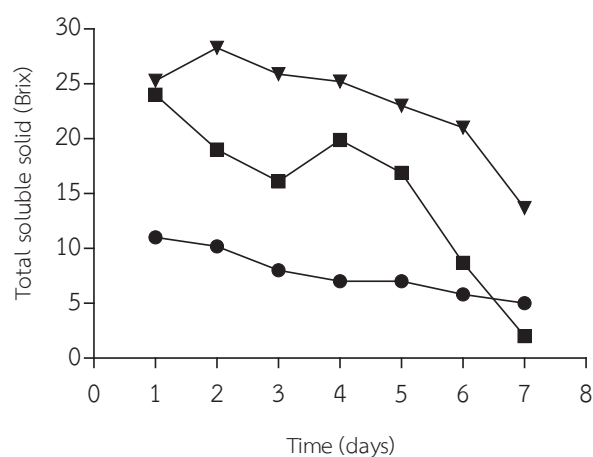
3.1 การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการหมักสาโท

จากกระบวนการหมักสาโทข้าวเหนียวทั้ง 3 ชนิดเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยใช้ลูกแป้ง 10 กรัมต่อข้าว 3 กิโลกรัม (ภาพที่ 1) พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการหมักในสาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดค่อนข้างสูง หลังจากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าในวันที่ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 11.00, 24.00 และ 25.30 องศาบริกซ์ ในสาโทข้าวเหนียว กข. 6 สาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวตามลำดับ (ภาพที่ 2) แต่จากการศึกษาของ Kudpeng *et al.* (2016) พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสาโทข้าวเหนียว กข. 6 และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าเท่ากับ 16.80 และ 14.80 องศาบริกซ์ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน การที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าแตกต่างกันอาจจะเกิดจากคุณภาพของข้าว ซึ่งเป็นผลมาจากข้าวเหนียวมีปริมาณแป้งประเภทอะไมโลเพกตินมากกว่าข้าวเจ้า (Yoshizawa, 1999) ปริมาณการใช้ลูกแป้ง และการใช้ลูกแป้งจากแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน เนื่องจากในลูกแป้งแต่ละชนิดจะมีส่วนผสมของข้าว เชื้อจุลินทรีย์ และสมุนไพร

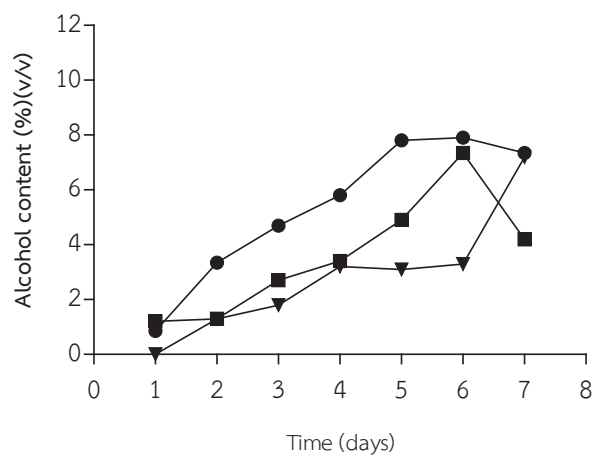
ที่แตกต่างกัน ทำให้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นน้ำตาลในกระบวนการหมัก โดยเฉพาะเชื้อรา *Amylomyces rouxii* และ *Rhizopus* spp. จะสร้างเอนไซม์ Amylase ชนิด α -Amylase และ Glucoamylase ในกระบวนการ Saccharification เพื่อเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวให้กลายเป็นน้ำตาล (Techavasonyoo, 2007; Chay et al., 2016) ซึ่งเชื้อราในลูกแป้งที่มีความสำคัญที่จะเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นน้ำตาล ได้แก่ *Amylomyces* sp., *Actinomucor* sp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Mucor* sp., *Monascus* sp., *Penicillium* sp., และ *Rhizopus* sp. (Limtong et al., 2002; Limtong et al., 2005; Chaijamrus and Mouthung, 2011) จากการศึกษาของ Amatayakul et al. (2012) ที่ทำการศึกษาการผลิตสาโทข้าวเหนียวโดยใช้เชื้อ *Aspergillus niger* TISTR 3257 เพียงอย่างเดียวในขั้นตอนการหมักโคจิ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าสูง คือ 21.53 องศาบริกซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์มีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงแรกที่ทำการศึกษา และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณแอลกอฮอล์ มีค่าเท่ากับ 7.35, 4.20 และ 7.20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในสาโทข้าวเหนียว กข. 6 สาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโท ข้าวเหนียวลิ้มผัวตามลำดับ (ภาพที่ 3 และตารางที่ 1) เนื่องจากในลูกแป้งมีเชื้อยีสต์จำพวก *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomycopsis fibuligera*, *Issatchenkia orientalis*, *Candida rhagii*, *C. glabrata*, *Pichia anomala*, *P. burtonii*, *P. fabianii*, *P. Mexicana*, *P. heimii*, *Torulaspora globosa*, *Rhodotorula philyla*, *Trichosporon asahii* และ *T. delbrueckii* (Limtong et al., 2002; Limtong et al., 2005; Chaijamrus and Mouthung, 2011) ที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์จากกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอลกอฮอล์จะสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเนื่องจากเชื้อยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์กับการศึกษาของ Kudpeng et al. (2016) พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ในสาโทข้าวเหนียว กข. 6 และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่ามากกว่า คือ 14.80 และ 14.20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งอาจจะเกิดจากปริมาณลูกแป้งที่ใช้และการใช้ระยะเวลาในการหมักมากกว่า คือ 14 วัน การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดด้วยวิธีการไทเทรตเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวพบว่า มีค่าค่อนข้างสูงคือเท่ากับ 11.4 ± 0.15 และ 11.5 ± 0.57 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนในสาโทข้าวเหนียว กข.6 มีค่าเท่ากับ 5.10 ± 0.00 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 1) การที่สาโทมีปริมาณกรดทั้งหมดค่อนข้างมากเกิดจากเชื้อราบางส่วนจะสร้างกรดทำให้สภาพของน้ำหมักเกิดเป็นกรดและมีรสเปรี้ยว (Buathong and Maisont, 2016) นอกจากนี้ปริมาณกรดทั้งหมดจะส่งผลต่อค่า pH โดยตรงแต่เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดค่า pH ดังนั้นในการศึกษาการผลิตสาโทในครั้งถัดไปจะต้องทำการวัดค่า pH เพื่อให้ทราบว่ามีค่าเท่าใด เนื่องจากค่า pH เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการหมักสาโท โดยค่า pH ที่เหมาะสมต่อการหมักสาโทควรอยู่ในช่วง 2.8-3.8 ซึ่งจะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ และเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญเติบโต (Kudpeng et al., 2016) เมื่อนำปริมาณกรดทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Sirikhansaeng et al. (2017) พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดของสาโทข้าวเจ้ามีค่าน้อยกว่าอยู่ในช่วง 9.45-8.25 กรัมต่อลิตร การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่าในสาโทข้าวเหนียว กข.6 สาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าเท่ากับ 0.30 ± 0.02 , 0.41 ± 0.00 และ 1.30 ± 0.19 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในสาโทข้าวเหนียว กข.6 สาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าเท่ากับ 0.24 ± 0.04 , 0.06 ± 0.01 และ 0.36 ± 0.05 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 การหมักสาโทจาก (ก) ข้าวเหนียว กข. 6 (ข) ข้าวเหนียวนางนวล และ (ค) ข้าวเหนียวลิ้มผัว



ภาพที่ 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจากสาโท (●) ข้าวเหนียว กข. 6 (■) ข้าวเหนียวนางนวล และ (▼) ข้าวเหนียวลิ้มผัว



ภาพที่ 3 ปริมาณแอลกอฮอล์จากสาโท (●) ข้าวเหนียว กข. 6 (■) ข้าวเหนียวนางนวล และ (▼) ข้าวเหนียวลิ้มผัว

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากสาโทข้าวเหนียว เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

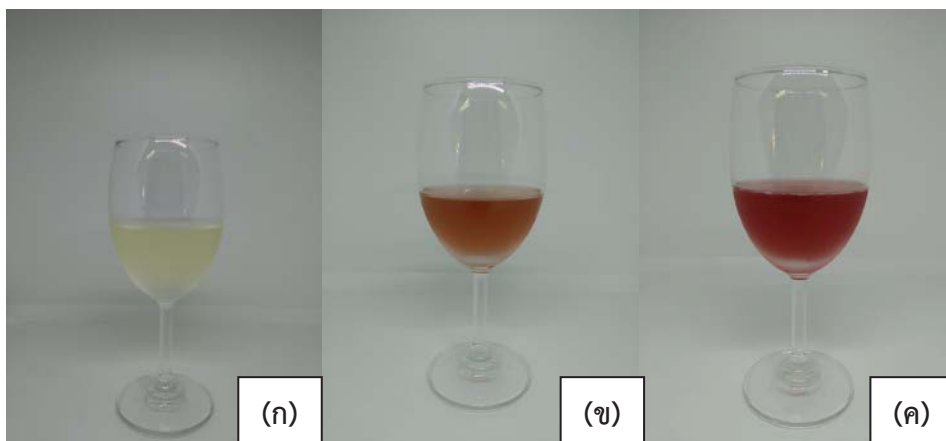
พารามิเตอร์	ชนิดพันธุ์ข้าว		
	ข้าวเหนียว กข. 6	ข้าวเหนียวนางนวล	ข้าวเหนียวลิ้มผัว
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (^o Brix)	5.00	2.00	13.70
ปริมาณแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	7.35	4.20	7.20
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	0.30±0.02	0.41±0.00	1.30±0.19
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	0.24±0.04	0.06±0.01	0.36±0.05
ปริมาณกรดทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	5.10±0.00	11.4±0.15	11.5±0.57
DPPH radical scavenging (เปอร์เซ็นต์)	39.67±1.22	86.84±0.47	88.58±0.10

3.2 การต้านอนุมูลอิสระจากสาโท

ผลการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการหมักตั้งแต่เริ่มต้นไปจนถึงสิ้นสุดกระบวนการหมักในสาโทข้าวเหนียว กข. 6 มีค่าน้อยที่สุด คือ อยู่ระหว่าง 23.98 ± 1.23 ถึง 39.67 ± 1.22 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าในสาโทข้าวเหนียว กข. 6 สาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 39.67 ± 1.22 , 86.84 ± 0.47 และ 88.58 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จากการศึกษาของ Posoongnoen and Thummavongsa (2018) ที่ทำการศึกษาคู่ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำด้วยวิธี DPPH พบว่า ข้าวเหนียวดำมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.38 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สาโทที่ใช้ข้าวเหนียวที่มีสีดำ คือ ข้าวเหนียวนางนวล และข้าวเหนียวลิ้มผัว มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวเหนียวขาว เนื่องจากข้าวเหนียวดำเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำที่มีสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง โดยสารแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยในการหมุนเวียนเลือด และชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย นอกจากนี้ในเมล็ดข้าวสายพันธุ์ที่มีสีดำและสีแดงยังมีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าพันธุ์ที่ไม่มีสีอีกด้วย (Sumret *et al.*, 2012) ดังนั้นหากมีการดื่มสาโทในปริมาณที่เหมาะสมก็จะส่งผลดีต่อร่างกายเนื่องจากมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง

3.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ ความชอบโดยรวมของสาโทข้าวเหนียวทั้ง 3 ชนิด (ภาพที่ 4) โดยใช้ระบบ 20 คะแนน (20-Point-Wine) ผลการทดลองพบว่า การทดสอบคุณภาพด้านความใสของสาโทข้าวเหนียว กข. 6 สาโทข้าวเหนียวนางนวล และสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าคะแนนเท่ากับ 0.88 ± 0.73 , 1.29 ± 0.62 และ 0.95 ± 0.57 คะแนนตามลำดับ และจากการทดสอบคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมพบว่า สาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าคะแนนสูงที่สุด คือ 1.32 ± 0.75 , 2.80 ± 1.00 4.32 ± 3.40 และ 7.80 ± 4.84 คะแนนตามลำดับ (ตารางที่ 2) การที่สาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าคะแนนด้านสีมากที่สุดอาจจะเกิดจากสาโทมีสีค่อนข้างใสและมีสีแดงเข้มทำให้เป็นที่ชื่นชอบของผู้ที่ทำการทดสอบ อีกทั้งสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวยังมีรสชาติหวานเนื่องจากเมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเหลืออยู่มากที่สุดทำให้ได้ค่าคะแนนจากการทดสอบสูงที่สุด ถึงแม้ว่าปริมาณกรดทั้งหมดจะค่อนข้างสูงก็ตาม แต่เมื่อนำผลจากการทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของสาโททั้ง 3 ชนิดมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)



ภาพที่ 4 สาโทข้าวเหนียวทั้ง 3 ชนิด (ก) ข้าวเหนียว กข.6 (ข) ข้าวเหนียวนางนวล และ (ค) ข้าวเหนียวลิ้มผัว

ตารางที่ 2 แสดงการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสาโทจากข้าวเหนียวพันธุ์ต่าง ๆ

ชนิดพันธุ์ข้าว	การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (mean $\pm$ S.D.)				
	ความใส	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ข้าวเหนียว กข.6	0.88 $\pm$ 0.73 ^{NS}	1.00 $\pm$ 0.95 ^{NS}	2.12 $\pm$ 1.20 ^{NS}	3.52 $\pm$ 3.16 ^{NS}	6.27 $\pm$ 4.86 ^{NS}
ข้าวเหนียวนางนวล	1.29 $\pm$ 0.62 ^{NS}	1.21 $\pm$ 0.65 ^{NS}	2.33 $\pm$ 1.01 ^{NS}	2.88 $\pm$ 2.77 ^{NS}	6.17 $\pm$ 4.25 ^{NS}
ข้าวเหนียวลิ้มผัว	0.95 $\pm$ 0.57 ^{NS}	1.32 $\pm$ 0.75 ^{NS}	2.80 $\pm$ 1.00 ^{NS}	4.32 $\pm$ 3.40 ^{NS}	7.80 $\pm$ 4.84 ^{NS}

หมายเหตุ : แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$) ด้วยวิธีการ Duncan's Multiple Range Tests (DMRT) ในแต่ละคอลัมน์

4. สรุปผล

จากการศึกษาการหมักสาโทจากข้าวเหนียวทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวเหนียว กข. 6 ข้าวเหนียวนางนวล และ ข้าวเหนียวลิ้มผัว พบว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักข้าวเหนียว กข.6 สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้มากที่สุด คือ 7.35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร รองลงมาคือข้าวเหนียวลิ้มผัว และข้าวเหนียวนางนวล โดยมีค่าเท่ากับ 7.20 และ 4.20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ ผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวมีค่าคะแนนสูงที่สุด คือ 1.32 $\pm$ 0.75, 2.80 $\pm$ 1.00, 4.32 $\pm$ 3.40 และ 7.80 $\pm$ 4.84 คะแนนตามลำดับ ส่วนค่าคะแนนความชอบด้านความใสพบว่าสาโทข้าวเหนียวนางนวลมีค่ามากที่สุด คือ 1.29 $\pm$ 0.62 คะแนน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลจากการทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของสาโททั้ง 3 ชนิดมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$) และจากผลการทดลองพบว่าสาโทข้าวเหนียวลิ้มผัวสามารถที่จะส่งเสริมให้ผลิตเป็นสาโทซึ่งเป็นการส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว

5. เอกสารอ้างอิง

- Amatayakul, T., N. Somsap and P. Rotsatchakul. 2012. Study of volatile compounds in Thai rice wine (sato) produced from wheat. *KKU Research Journal*, 17(6), 939-949.
- Buathong, K. and S. Maisont. 2016. Product development of Sato from black glutinous rice by red yeast rice (Ang-kak) mixed Thai traditional fermentation starter (Loog-Pang). *Journal of Science and Technology Phranakhon Rajabhat University*, 6(6), 70-76. (in Thai)

- Chaijamrus, S. and Mouthung, B. 2011. **Selection of Thai starter components for ethanol production utilizing malted rice from waste paddy.** Songklanakarin Journal of Science and Technology, 33(2), 163-170.
- Chay, C., F.B. Elegado, E.I. Dizon, W.A. Hurtada, C. Norng and L.C. Raymundo. 2016. **Effects of rice variety and fermentation method on the physiochemical and sensory properties of rice wine.** International Food Research Journal, 24(3) , 1117-1123.
- Danvirutai, P. P. and Laopaiboon. 2006. **Fruit wine and Sato: How to produce with confidence?.** 2nd Ed. Klunghana Printing, Khon Kaen. (in Thai)
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. **Colorimetric method for determination of sugars and related substances.** Analytical Chemistry, 28, 350-356.
- Kudpeng, C., W. Soemphol and V. Tanamool. 2016. Study on Production of Sato from Indigenous Rice Varieties in Nakhon Ratchasima., pp. BMP1-BMP1-10. *In* The National and International Graduate Research Conference 2016. Khon Kaen University, Khon Kaen. (in Thai)
- Limtong, S., S. Sintara, P. Suwanarit and N. Lotong. 2002. **Yeast Diversity in Thai traditional fermentation starter (Loog-pang).** Kasetsart Journal (Nat Sci), 36, 149-158.
- Limtong, S., S. Sintara, P. Suwanarit and N. Lotong. 2005. **Species diversity of molds in Thai traditional fermentation starters (Loog-Pang).** Kasetsart Journal (Nat Sci), 39, 511-518.
- Nelson, N. 1944. **A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose.** Journal of Biological Chemistry, 153, 376-380.
- Nuanpeng, S. 2018. **Comparison rice vinegar production from Hom-nil rice and Riceberry rice.** Agricultural Science Journal, 49(Suppl.)(2) , 605-608. (in Thai)
- Posoongnoen, S. and T. Thummavongsa. 2018. **Some chemical compositions and antioxidant properties of local rice in Nakhon Ratchasima province, Thailand.** Burapha Science Journal, 23(2), 971-984. (in Thai)
- Sirikhansaeng, P., P. Phuakkaew and N. Sirisanguan. 2017. **Effects of Sato from various rice color on the inhibition of growth in *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*.** Koch Cha Sarn Journal of Science, 39(21), 121-135. (in Thai)
- Sirikhansaeng, P., J. Koedlap and W. Nukadram. 2020. **Glutinous rice fermented vinegar production from *Acetobacter pasteurianus* TISTR 102.** YRU Journal of Science and Technology, 6(1), 1-9.
- Sirisantimethakom, L., L. Laopaiboon, P. Danvirutai and P. Laopaiboon. 2008. **Volatile compounds of a traditional Thai rice wine.** Biotechnology, 7(3), 505-513.
- Siritrakulsak, P., P. Chutichudet, B. Chutichudet, M. Plainsirichai and K. Boontiang. 2013. **Antioxidant activity of fifteen edible flowers in Maha Sarakham province.** Khon Kaen Agriculture Journal, 41(Suppl.)(1), 607-611. (in Thai)
- Somogyi, M. 1952. **Notes on sugar determination.** Journal of Biological Chemistry, 195, 19-23.
- Sumret, C., N. Siriwong and S. Riebroy. 2012. **Textural properties and acceptability of cooked black glutinous rice as affected by soaking and cooking methods,** pp. 1-8 *In* The 50th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

-
- Techavasonyoo, A. 2007. **I solation, classification and characterization of yeasts and molds isolated from Loog Pang for Sato production.** Master thesis, Chulalongkorn University. (in Thai)
- Thongta, S. and J. Yongsawatdigul. 2011. **Quality Changes during rice storage and age accelerating/ delaying.** Research report Suranaree university of technology, Nakhon Ratchasima. (in Thai)
- Yamuangmorn, S. and T. Prom-u-thai, C. 2016. **Variation of anthocyanin content and antioxidant capacity among local Thai purple glutinous rice genotypes.** Journal of Agriculture, 32(2), 191-199. (in Thai)
- Yoshizawa K. 1999. **Sake: Production and Flavor.** Food Reviews International, 15(1) : 83-107.

(Received: 20/Apr/2022, Revised: 21/Nov/2022, Accepted: 23/Nov/2022)

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของ
รอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค ด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate
The Relationship Between Time Period of Fingerprints Being Imprinted
On Zip-Lock Plastic Bags and Latent Fingerprint Minutiae Extracted Using
Black Powder and Cyanoacrylate Technique

กมลรส ลิลิตธรรม^{1*} และ นพรุจ ศักดิ์สิทธิ์²

Kamonros Leelitthum^{1*} and Noparuj Saksiri²

¹ สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์

² คณะสังคมศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

¹ Forensic science, Faculty of Science, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus

² Faculty of Social Science, Royal Police Cadet Academy

*E- mail: kamonros.lee@gmail.com โทร. 098-5525835

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค ด้วยวิธีผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate นอกจากนี้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงด้วยวิธีผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate และสร้างสมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง โดยงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง แบบแผนการทดลอง Static-Group Comparison ด้วยการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อคที่ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยวิธีการตรวจเก็บจำนวน 2 วิธี ได้แก่ วิธีการปิดผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้วยสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพียร์สัน และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ผลการวิจัยพบว่า การเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค ด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำสามารถตรวจเก็บจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษได้มากกว่า Cyanoacrylate อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากวิธีการปิดผงฝุ่นดำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.64 จุด และจาก Cyanoacrylate มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.00 จุด ยิ่งไปกว่านั้น สำหรับการเก็บด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำ ที่ 0-28 วัน มีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูงมีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก ($r = 0.990$) สามารถพยากรณ์ได้ร้อยละ 98.0 มีสมการเป็น $y = 30.535 - 0.415x$ ในส่วน Cyanoacrylate ที่ 0-28 วัน มีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูง ($r = 0.894$) สามารถพยากรณ์ได้ร้อยละ 80.0 มีสมการเป็น $y = 54.437 - 1.503x$ และเมื่อทำการแยกวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกที่ 0-14 วัน มีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก ($r = 0.941$) สามารถพยากรณ์ได้ร้อยละ 88.5 มีสมการเป็น $y = 19.261 - 0.313x$ ในส่วนหลังที่ 14-28 วัน มีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก ($r = 0.998$) สามารถพยากรณ์ได้ร้อยละ 99.6 มีสมการเป็น $y = 91.230 - 3.098x$
คำสำคัญ : รอยลายนิ้วมือแฝง ถุงพลาสติกซิปล็อค วิธีการปิดผงฝุ่นดำ

Abstract

The study aims to make a comparison between latent fingerprint extracted from zip-lock bags and black powder and Cyanoacrylate techniques as well as to examine the relationship between imprinting fingerprints time period and latent fingerprint minutiae extracted using black powder and Cyanoacrylate techniques. This study was experimental research: Static Group Comparison on

developing latent fingerprints from zip-lock bags by black powder and Cyanoacrylate on 28 days (divided into 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21 and 28 days). Descriptive Statistics: Frequency, Percentage, Mean, Maximum, Minimum and Standard deviation were used to describe attributes of a database. Inference Statistics: paired samples t-test and Pearson's correlation coefficient and Linear Regression analysis. The results showed that developing latent fingerprint extracted from zip-lock bags using black powder and Cyanoacrylate collect latent fingerprint minutiae. The result revealed that using black powder is better than Cyanoacrylate analyzed with 0.05 statistical significance. The means of black powder = 53.64 and Cyanoacrylate = 42.00. Moreover, Developing latent fingerprint extracted from zip-lock bags using black powder (0 to 28 days) was $r = 0.990$ (at very high level) predict percentage of imprinting fingerprints time = 98.0 and the predicted equation was $y = 30.535 - 0.415x$. Cyanoacrylate (0 to 28 days) was $r = 0.894$ (at high level) and also predict percentage of imprinting fingerprints time = 80.0 and the predicted equation was $y = 54.437 - 1.503x$. The equation was divided into two parts, the first part at 0-14 days was $r = 0.941$ (at very high level) and predict percentage of imprinting fingerprints time = 88.5; the predicted equation was $y = 19.261 - 0.313x$. The last part at 14-28 days was $r = 0.998$ (at very high level) and predict percentage of imprinting fingerprints time = 99.6; the predicted equation was $y = 91.230 - 3.098x$.

Keywords : latent fingerprint, zip-lock plastic bags, black powder

1. บทนำ

เนื่องจากวัตถุพยานเป็นสิ่งที่สามารถใช้บ่งชี้ผู้กระทำความผิดได้อย่างถูกต้องชัดเจนและแม่นยำ สำหรับวัตถุพยานทางนิติวิทยาศาสตร์แบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ตัวอย่างเช่น วัตถุพยานสารพันธุกรรมหรือดีเอ็นเอ, วัตถุพยานรอยลายนิ้วมือฝ่ามือและฝ่าเท้าแฝง เป็นต้น ในส่วนของวัตถุพยานที่เป็นรอยลายนิ้วมือฝ่ามือและฝ่าเท้าแฝงนั้น เป็นวัตถุพยานที่สามารถตรวจเก็บได้ง่ายจากสถิติงานตรวจพิสูจน์รอยลายนิ้วมือแฝงที่รวบรวมย้อนหลังจำนวน 3 ปี ของกลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง กองพิสูจน์หลักฐานกลาง ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 1-10 พบว่า ปี 2562 มีจำนวน 16,621 เรื่อง, ปี 2563 มีจำนวน 14,879 เรื่อง และ ปี 2564 มีจำนวน 14,023 เรื่อง (สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ) รอยลายนิ้วมือแฝงนั้นมาจากการประทับของนิ้วมือลงบนวัตถุพยานพื้นผิวชนิดต่าง ๆ สำหรับรอยลายนิ้วมือจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เกิดจนกระทั่งเสียชีวิตเป็นเอกลักษณ์ของแต่ละบุคคล เนื่องจากไม่มีทางซ้ำกันได้เลย แม้แต่ฝาแฝด ไข่ใบเดียวกัน รอยลายนิ้วมือนั้นประกอบไปด้วย เส้นนูนและเส้นร่อง มีปรากฏอยู่บริเวณขึ้นหนังแท้ และหนังกำพร้าถึงแม้ว่าหนังกำพร้าจะหลุดลอกไปผิวหนังบริเวณนั้นก็จะมีการซ่อมแซมตัวเองขึ้นมาใหม่ได้ ในกรณีที่เปื้อนศพหากมีการเนาเปื้อย บริเวณหนังแท้ก็ยังคงสามารถเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงได้ การที่รอยลายนิ้วมือแฝงไปปรากฏบนพื้นผิววัตถุพยานต่าง ๆ นั้น เนื่องจากบริเวณเส้นนูนของลายนิ้วมือนั้นมีต่อเหงื่อที่เรียกว่า Eccrine gland ปรากฏเฉพาะบริเวณ นิ้วมือ ฝ่ามือ และฝ่าเท้าเท่านั้น จะมียอดประกอบของเหงื่อโดยประมาณ 90% คือ น้ำ อีก 10% มียอดประกอบของกรดอะมิโน ไขมัน เกลือแร่ต่าง ๆ แต่โดยปกติเหงื่อจากรอยลายนิ้วมือแฝงที่ติดอยู่บนพื้นผิววัตถุพยานนั้นมาจากการผสมกันของเหงื่อจาก Sebaceous glands ด้วยเช่นกัน สำหรับ Sebaceous gland นั้นมีอยู่ตามบริเวณใบหน้าและส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย Yamashita (2010) วิธีการทำให้รอยลายนิ้วมือปรากฏขึ้นนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุพยานพื้นผิวของวัตถุพยานแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ พื้นผิวไม่มีรูพรุน, พื้นผิวที่มีรูพรุน และพื้นผิวที่กึ่งมีรูพรุน วิธีที่ใช้ในการทำให้รอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏขึ้นก็แตกต่างกัน สำหรับวิธีการปิดผงฝุ่นดำ/ขาว เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ในส่วนของพื้นผิวที่รูพรุนและไม่มีรูพรุน ตัวอย่างเช่น กระดาษที่ด้านหนึ่งเคลือบมันอีกด้านไม่ได้เคลือบสำหรับวัตถุพยานประเภทนี้จะนิยมใช้วิธีการรมกาว Super glue หรือ เรียกว่า Cyanoacrylate โดยกาวที่เป็นสารเคมี cyanoacrylate ester จะ

เข้าไปจับกับกรดอะมิโน และน้ำบนพื้นผิววัตถุพยานทำให้ปรากฏคราบกาฬสีขาวเป็นรูป รอยลายนิ้วมือขึ้น Paramakul (2018) ศึกษาการคงอยู่ของรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกสีดำแบบบาง พบว่า 0-7 วันแรก รอยลายนิ้วมือแฝงมีแนวโน้มคุณภาพของความคมชัดของรอยลายนิ้วมือลดลงส่วนหลังจากนั้นมีความคงที่ของความคมชัดของคุณภาพ รอยลายนิ้วมือแฝง Aroonsangthong (2020) ศึกษาเปรียบเทียบการปรากฏขึ้นของรอยลายนิ้วมือแฝงบนเครื่องหนัง ด้วยวิธีการชุบเปอร์กลู ด้วยเครื่องหนัง 4 ชนิด เป็นเวลา 7 วัน พบว่า รอยลายนิ้วมือแฝงบนเครื่องหนังชนิดหนัง Top Grain มีคุณภาพของรอยลายนิ้วมืออยู่ในระดับสูงที่สุด สำหรับการปรากฏขึ้นของรอยลายนิ้วมือแฝงบนเครื่องหนังนั้น ในแต่ละช่วงเวลาไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาที่กล่าวมาส่วนใหญ่ของงานวิจัยที่นิยมศึกษาคือมุ่งเน้นไปที่ตัวแทนของวัตถุพยาน ไม่ว่าจะเป็น โลหะ แก้ว และ พลาสติก จากที่ทำการสืบค้นมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถุงพลาสติกนั้นมีเพียงงานวิจัยเดียวการศึกษาเกี่ยวกับถุงพลาสติกสีดำแบบบางด้วยการทำการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงด้วย Cyanoacrylate เพียงวิธีการเดียว ประกอบกับยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการทดลองเกี่ยวกับ ถุงพลาสติกชนิดลือคด้วยวิธีการตรวจเก็บ ด้วยวิธีการต่าง ๆ

จากที่มาและความสำคัญข้างต้น ผู้เขียนจึงมีความสนใจที่จะศึกษาจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่อยู่บนถุงพลาสติกชนิดลือคกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงด้วยวิธีผงฝุ่นดำและ Cyanoacrylate ดังวัตถุประสงค์ในงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกชนิดลือค ด้วยวิธีผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือกับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงด้วยวิธีผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate และสร้างสมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง

2. วิธีการทดลอง

อาสาสมัคร

อาสาสมัครเพศหญิง (หญิงไทย) อายุ 28 ปี ลักษณะผิวปกติ นิ้วมือไม่แห้งผกผิดปกติ

ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

ถุงพลาสติกชนิดลือคใส ขนาด 8 x 6 เซนติเมตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

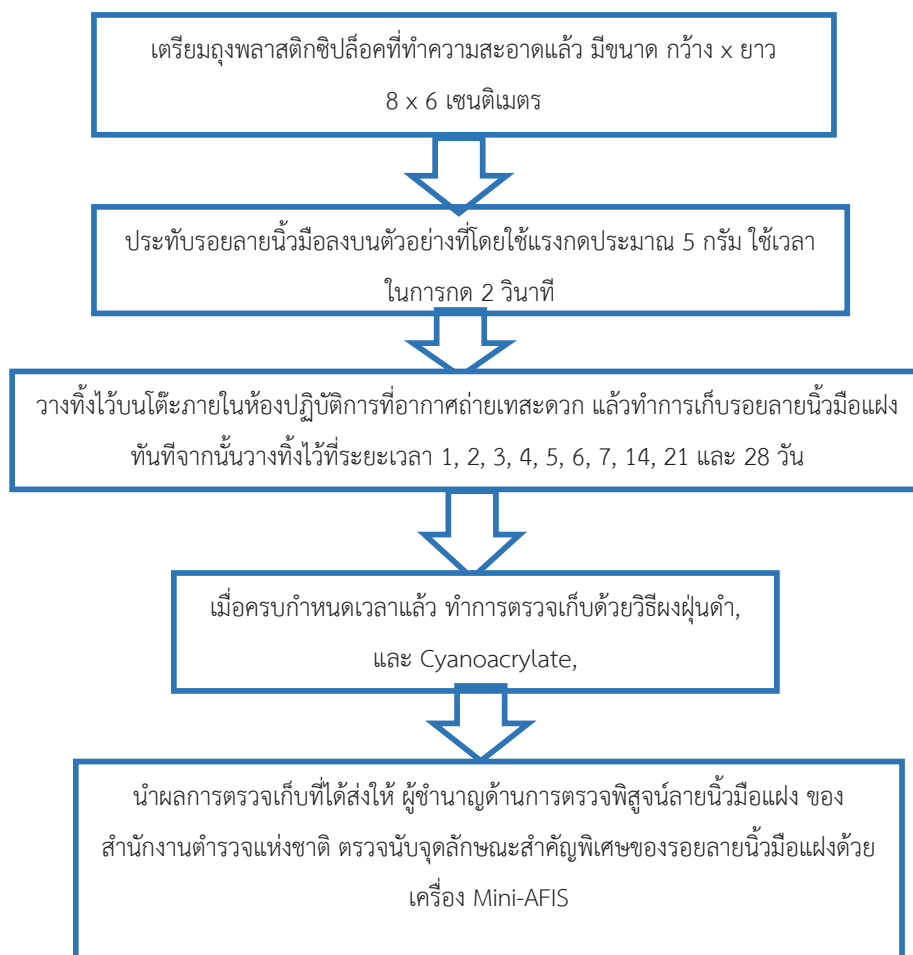
ผงฝุ่นดำ ยี่ห้อ KS บริษัทแอสคอน อินชิลัน จำกัด, Cyanoacrylate (ยี่ห้อ Defsec Global), ตู้อบ Super glue (ยี่ห้อ foster+freeman รุ่น MVC3000), เครื่องชั่งพิกัด 3,200 กรัม (ยี่ห้อ sartorius), แปรงปัดขนกระรอก (ยี่ห้อ KS บริษัทแอสคอน อินชิลัน จำกัด), โทรศัพท์มือถือ ไอโฟน 13 pro max, Polylight ยี่ห้อ ROFIN

การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง นำถุงพลาสติกชนิดลือคขนาด 8 x 6 เซนติเมตร มาทำความสะอาดด้วย 70% แอลกอฮอล์ แล้วทิ้งให้แห้ง ให้อาสาสมัครที่ไม่ผ่านการล้างมืออย่างน้อย 1 ชั่วโมง จากนั้นนำนิ้วหัวแม่มือขวามาสัมผัสบริเวณ ที่โชน หน้าผาก จมูก หรือคาง แล้วประทับรอยลายนิ้วมือลงบนตัวอย่างถุงพลาสติกชนิดลือคที่ทำความสะอาดเตรียมไว้แล้ว ด้วยแรงกดประมาณ 5 กรัม ใช้เวลาในการกดประมาณ 2 วินาที จำนวน 1 รอย ต่อ 1 แผ่น

วิธีการทดลอง นำถุงพลาสติกชนิดลือคที่ประทับรอยลายนิ้วมือแฝงแล้ว วางทิ้งไว้บนโต๊ะในห้องปฏิบัติการที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก จากนั้นทำการตรวจเก็บตามเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่วางไว้ทันทีและครบระยะเวลาตามที่กำหนดในแต่ละวัน มาตรวจเก็บด้วย 2 วิธี ดังนี้ 1) วิธีการปิดผงฝุ่นดำ ทำการปิดผงฝุ่นบนรอยลายนิ้วมือแฝง และ 2) Cyanoacrylate นำไปใส่ตู้อบ Super Glue และอบเป็นระยะเวลา

30 นาที บันทึกข้อมูลโดยการถ่ายภาพ ด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ ไอโฟน รุ่น 13 Pro max ทำการส่งรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บได้ให้กับผู้ชำนาญด้านการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงของสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ทำการนับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงด้วยเครื่อง Mini-AFIS รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น มาสรุปเป็นแผนภาพ



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดลอง

วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลของรอยลายนิ้วมือแฝง โดยการนับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง (minutiae) ด้วยเครื่อง Mini-AFIS และเกณฑ์การให้คะแนนระดับคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝง โดยหลักเกณฑ์การแปลค่าคะแนนเฉลี่ยของจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง ที่ได้ออกแบบเป็นช่วงระดับจำนวน 5 ระดับ ซึ่งมีวิธี ดังนี้

$$\frac{\text{จำนวน minutiae ที่พบมากที่สุด} - \text{จำนวน minutiae ที่พบน้อยที่สุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{74.5 - 7.5}{5} = 13.4$$

ซึ่งสามารถแบ่งเกณฑ์ได้เป็น 61.1 - 74.5 จุดอยู่ในระดับมากที่สุด 47.7 - 61.09 จุดอยู่ในระดับมาก 34.3 - 47.69 จุดอยู่ในระดับปานกลาง 20.9 - 34.29 จุดอยู่ในระดับน้อย 7.5 - 20.89 จุดอยู่ในระดับน้อยที่สุด

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค ด้วยวิธีการปิดผงฝุ่น และ Cyanoacrylate โดยใช้ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน

3. การวิเคราะห์สมการพยากรณ์ระยะเวลาที่จุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

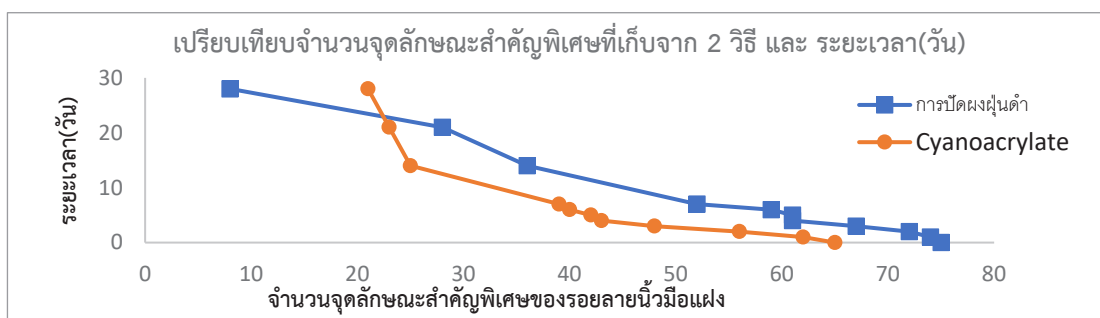
โดยผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การแปลผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) Hinkle (1998) ว่ามีความสัมพันธ์ในระดับใดไว้ดังนี้ 0.90 - 1.00 ระดับสูงมาก 0.70 - 0.90 ระดับสูง 0.50 - 0.70 ระดับปานกลาง 0.30 - 0.50 ระดับต่ำ 0.00 - 0.30 ระดับต่ำมาก

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1) การวิเคราะห์คุณภาพของรอยลายนิ้วมือ

พบว่า ที่ระยะเวลาวันที่ 0-1 รอยลายนิ้วมือแฝงจากการเก็บทั้งสองวิธี คือ การปิดผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate ทั้งสองวิธี ($M_{BP} = 74.5$, $M_{CA} = 64.5$) ให้คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงคุณภาพระดับมากที่สุดสามารถมองเห็นรูปแบบลายเส้น และ จุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงได้อย่างชัดเจนมาก สามารถใช้ในการตรวจเปรียบเทียบยืนยันตัวบุคคลได้ดีมากที่ระยะเวลาวันที่ 2-3 (ที่ 2, 3 วัน $M_{BP} = 71.5, 67$, $M_{CA} = 56, 48$) รอยลายนิ้วมือแฝงที่ได้จากวิธีผงฝุ่นดำนั้น ยังคงมีคุณภาพระดับมากที่สุด แต่ Cyanoacrylate นั้น มีคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ระดับสูง สามารถมองเห็นรูปแบบ ลายเส้น และ จุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง ได้อย่างชัดเจน แต่ทั้งสองวิธีก็ยังสามารถตรวจเปรียบเทียบยืนยันตัวบุคคลได้ดี ที่ระยะเวลาวันที่ 4-7 (ที่ 4-7 วัน $M_{BP} = 61, 60.5, 58.5, 52$, $M_{CA} = 43, 41.5, 40, 39$) รอยลายนิ้วมือแฝงที่ได้จากวิธีผงฝุ่นดำนั้น ยังคงมีคุณภาพระดับสูง แต่ Cyanoacrylate นั้น มีคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ระดับปานกลาง ในส่วนของวิธีผงฝุ่นดำนั้น คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงเหมือนกับ วันที่ 0-3 แต่สำหรับ Cyanoacrylate ระยะเวลาวันที่ 4-7 นั้น ให้คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงเพียงแค่ปานกลาง คือ ความชัดเจนของลายเส้นและรูปแบบลดลงจากวันแรก ๆ สำหรับตั้งแต่ระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 14-28 (ที่ 14, 21, 28 วัน $M_{BP} = 35.5, 28, 7.5$, $M_{CA} = 25, 22.5, 20$) ในวันที่ 14 นั้น การเก็บด้วยวิธีผงฝุ่นดำนั้นยังให้คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงระดับปานกลาง ในขณะที่ Cyanoacrylate ตั้งแต่ ระยะเวลาวันที่ 14 เป็นต้นไปนั้น รอยลายนิ้วมือแฝงที่ได้มีคุณภาพต่ำทั้งหมดแต่ก็ยังมีจุดลักษณะสำคัญพิเศษเพียงสำหรับใช้ในการตรวจเปรียบเทียบยืนยันตัวบุคคลได้ มีเพียงการเก็บด้วยวิธีผงฝุ่นดำเท่านั้น ที่ระยะเวลาวันที่ 28 ระดับคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ระดับน้อยที่สุด จนไม่สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบยืนยันตัวบุคคลได้ แสดงดังภาพที่ 2

จากผลการทดลองข้างต้นนั้น มีความสอดคล้องกับผลการวิจัยอ้างอิงจาก Pahade (2015) ที่บอกว่าการปิดผงฝุ่นดำนั้นให้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงได้มากกว่า Cyanoacrylate เพราะอนุภาคของผงฝุ่นนั้นมีความจำเพาะกับไขมันบน sebaceous gland และน้ำ ของรอยลายนิ้วมือแฝง และ Yamashita (2010) ที่กล่าวไว้ว่า องค์ประกอบของรอยลายนิ้วมือแฝงมีน้ำ 90% อีก 10% เป็น ไขมัน โปรตีน และ เกลือแร่ หรือ สารอื่น ๆ เมื่อระยะเวลาผ่านไปน้ำและไขมันค่อยสลายไปจึงทำให้จุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงลดลงตามลำดับ



ภาพที่ 2 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เก็บจาก 2 วิธี ได้แก่ วิธีการปิดผงฝุ่นดำ, Cyanoacrylate และ ระยะเวลา (วัน)

2) การเปรียบเทียบจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค ด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน

สมมติฐานทางการวิจัย

การเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อคด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำสามารถตรวจเก็บจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงได้มากกว่า Cyanoacrylate อย่างมีนัยสำคัญ

สมมติฐานทางสถิติ

$$H_0 : \mu_{\text{วิธีการปิดผงฝุ่นดำ}} \leq \mu_{\text{Cyanoacrylate}} \quad H_1 : \mu_{\text{วิธีการปิดผงฝุ่นดำ}} > \mu_{\text{Cyanoacrylate}}$$

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษบนถุงพลาสติกซิปล็อค

วิธีการเก็บรอยลายนิ้วมือแฝง	N	Mean	S.D.	Std. Error Mean	t	P-value
การปิดผงฝุ่นดำ	11	53.636	21.424	2.799	-4.158	0.002**
Cyanoacrylate	11	42.000	15.113			

จากตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง จากทั้ง 2 วิธี โดยการใช้สถิติการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน พบว่า จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บได้จากวิธีการปิดผงฝุ่นดำมีค่าเฉลี่ย (M) เท่ากับ 53.64 จุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 21.424 และจาก Cyanoacrylate มีค่าเฉลี่ย (M) เท่ากับ 42.00 จุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.113 ค่าเฉลี่ย (M) ของความต่างเท่ากับ 2.799 ค่า t-test มีค่าเท่ากับ -4.158 ค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับ H_1 นั่นคือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง ที่ตรวจเก็บด้วยวิธี การปิดผงฝุ่นดำมีค่าเฉลี่ยมากกว่าจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิจัยพบว่าสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wongsongia (2019) ศึกษาเปรียบเทียบความเสถียรของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ประทับอยู่วัตถุพยานที่เป็นพลาสติก ด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate สำหรับค่าทางสถิติของทั้งวิธีการปิดผงฝุ่นดำและ Cyanoacrylate นั้นมีระดับของการยอมรับได้ที่ 0.05 และงานวิจัยของ Adelila. (2018) ที่บอกว่า วิธีการปิดผงฝุ่นดำนั้นให้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่มากกว่า cyanoacrylate เนื่องจาก ผงฝุ่นดำนั้นมีความจำเพาะต่อการจับกับไขมัน ทำให้ความคมชัด ลายเส้นและรูปแบบที่ชัดเจน

3) การวิเคราะห์สมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

สมมติฐานทางการวิจัย

1. ระยะเวลาลงประทับลายนิ้วมือมีความสัมพันธ์กับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำอย่างมีนัยสำคัญ

2. จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำสามารถใช้พยากรณ์ระยะเวลาลงประทับลายนิ้วมืออย่างมีนัยสำคัญ

3. ระยะเวลาลงประทับลายนิ้วมือมีความสัมพันธ์กับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate อย่างมีนัยสำคัญ

4. จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate สามารถใช้พยากรณ์ระยะเวลาลงประทับลายนิ้วมืออย่างมีนัยสำคัญ

สมมติฐานทางสถิติ

$$1) H_0 : \mu_{\text{วิธีการปิดผงฝุ่นดำ}} = 0$$

$$H_1 : \mu_{\text{Cyanoacrylate}} \neq 0$$

$$\begin{aligned}
 2) H_0 : \mu_{\text{วิธีการปิดผงดุนดำ}} &= 0 \\
 H_1 : \mu_{\text{Cyanoacrylate}} &\neq 0 \\
 3) H_0 : \mu_{\text{วิธีการปิดผงดุนดำ}} &= 0 \\
 H_1 : \mu_{\text{Cyanoacrylate}} &\neq 0 \\
 4) H_0 : \mu_{\text{วิธีการปิดผงดุนดำ}} &= 0 \\
 H_1 : \mu_{\text{Cyanoacrylate}} &\neq 0
 \end{aligned}$$

การวิเคราะห์สมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษโดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน โดยการวิเคราะห์นั้นประกอบไปด้วยตัวแปร จำนวน 2 ตัวแปร โดยที่ กำหนดให้ตัวแปรตาม คือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วยวิธีการตรวจเก็บ จำนวน 2 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการปิดผงดุนดำ 2) Cyanoacrylate และ ตัวแปรพยากรณ์ คือ ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือ ตามสมมติฐานดังต่อไปนี้ ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่ 1) วิธีการปิดผงดุนดำที่ตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค 2) Cyanoacrylate ที่ตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค

1) วิธีการปิดผงดุนดำที่ตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค

1.1 ระยะเวลาที่ทำการทดลองตั้งแต่ 0-28 วัน

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่ตรวจเก็บด้วยวิธีการปิดผงดุนดำ กับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ระยะเวลา 0-28 วัน

ปัจจัย	B	Std. Er.	Beta	t	P-value
จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ	0.415	0.020	0.990	26.645	0.000**
(Constant)	30.535				
$R = 0.990^*$ $R^2 = 0.980$ $R^2_{\text{adjust}} = 0.977$ $F = 431.757^*$ $\text{Sig. } F = 0.000$ $\text{SEest} = \pm 1.353$					
*p < 0.05					

จากตารางที่ 2 จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วยวิธีการปิดผงดุนดำ มีความสัมพันธ์กับระยะเวลา (วัน) ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.990$) และสามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือได้ร้อยละ 97.7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับ H_1 นั่นคือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วยวิธีการปิดผงดุนดำที่ลดลงสามารถใช้พยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นด้วยการตรวจเก็บด้วยวิธีการปิดผงดุนดำได้โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 1.353 และสมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง เมื่อทราบจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษที่ลดลง กำหนดให้ y คือ ระยะเวลา (วัน) x คือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง ดังจะได้สมการ $y = 30.535 - 0.415x$

2) Cyanoacrylate ที่ตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกซิปล็อค

2.1 ระยะเวลาที่ทำการทดลองตั้งแต่ 0-28 วัน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate กับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง

ปัจจัย	B	Std.Er.	Beta	t	P-value
จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ	1.503	0.251	0.894	18.223	0.000**
(Constant)	54.437				
$R = 0.894^*$ $R^2 = 0.800$ $R^2_{\text{adjust}} = 0.777$ $F = 35.941^*$ $\text{Sig. } F = 0.000$ $\text{SEest} = \pm 7.129$					
*p < 0.05					

จากตารางที่ 3 จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate มีความสัมพันธ์กับ ระยะเวลา (วัน) ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.894$) และสามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 80.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับ H_1 นั่นคือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ลดลงสามารถใช้พยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate ได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 7.129 และสมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง เมื่อทราบจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง กำหนดให้ y คือ ระยะเวลา (วัน) x คือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง ดังจะได้สมการ $y = 54.437 - 1.503x$

จาก ระยะเวลาที่ทำการทดลองตั้งแต่ 0-28 วันของ Cyanoacrylate นั้นจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ลดลงตาม ระยะเวลา ตั้งแต่ 0-14 วันนั้น มีค่าเฉลี่ยที่มีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยระยะเวลา ตั้งแต่ 14-28 วัน เริ่มมีการคงที่ จึงส่งผลให้เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระยะตั้งแต่ 0-28 วันจะเห็นได้ว่า ค่า $r = 0.894$ และสามารถพยากรณ์จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงได้ร้อยละ 80.0 ถ้าหากทำการแยกวิเคราะห์ทางสถิติจะได้ค่าทางสถิติของระยะเวลา ตั้งแต่ 0-14 วัน $r = 0.941$ และสามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 88.5 และ ค่าทางสถิติของระยะเวลา ตั้งแต่ 14-28 วัน $r = 0.998$ และสามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 99.6 จะเห็นได้ว่า ถ้าวิเคราะห์โดยการแยกออกเป็นระยะเวลา 0-14 วัน กับ 14-28 วัน จะได้ค่า r ที่ดีกว่า เข้าใกล้ 1 มากกว่า และร้อยละของการพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นจะได้ร้อยละ 88.5 และ ร้อยละ 99.6 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า ที่ระยะเวลา 0-28 วัน ร้อยละของการพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นจะได้ร้อยละเพียง 80.0 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการแยกการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate กับ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง แยกออกเป็นสองช่วงระยะเวลา

2.2 ระยะเวลาที่ทำการทดลองตั้งแต่ 0-14 วัน

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate กับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ระยะเวลา 0-14 วัน

ปัจจัย	B	Std.Er.	Beta	t	P-value
จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ	0.313	0.043	0.941	9.409	0.000**
(Constant)	19.261				
$R = 0.941^*$ $R^2 = 0.885$ $R^2_{\text{adjust}} = 0.869$ $F = 54.009^*$ $\text{Sig. } F = 0.000$ $\text{SEest} = \pm 1.510$					
*p < 0.05					

จากตารางที่ 4 จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate มีความสัมพันธ์กับ ระยะเวลา (วัน) ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.941$) และสามารถพยากรณ์ ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 88.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับ H_1 นั่นคือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ลดลงสามารถใช้พยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate ได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 1.510 และสมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง เมื่อทราบจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง กำหนดให้ y คือ ระยะเวลา (วัน) x คือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง ดังจะได้สมการ $y = 19.261 - 0.313x$

2.3 ระยะเวลาที่ทำการทดลองตั้งแต่ 14-28 วัน

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate กับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ระยะเวลา 14-28 วัน

ปัจจัย	B	Std.Er.	Beta	t	P-value
จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ	3.098	0.199	0.998	20.183	0.032**
(Constant)	91.230				
$R = 0.998^*$ $R^2 = 0.996$ $R^2_{\text{adjust}} = 0.992$ $F = 243.000^*$ $\text{Sig. } F = 0.041$ $\text{SEEst} = \pm 0.634$					
*p < 0.05					

จากตารางที่ 5 จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate มีความสัมพันธ์กับ ระยะเวลา (วัน) ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.998$) และสามารถพยากรณ์ ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 99.6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า P-value เท่ากับ 0.032 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับ H_1 นั่นคือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ลดลงสามารถใช้พยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือที่เพิ่มขึ้นที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate ได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.634 และสมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง เมื่อทราบจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง กำหนดให้ y คือ ระยะเวลา (วัน) x คือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง ดังจะได้สมการ $y = 91.230 - 3.098x$

จากผลการทดลองการวิเคราะห์สมการพยากรณ์ระยะเวลากับจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน สมมติฐานการวิจัย ทั้ง 4 ข้อนั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cadd (2015) ที่ศึกษาองค์ประกอบของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ถูกทิ้งไว้นานพบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 วันแรกนั้น น้ำ และ ไขมัน บน sebaceous gland นั้นลดลงสลายไปอย่างรวดเร็ว จึงจะเป็นได้ จากจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บด้วยวิธีการบัดผงฝุ่นดำ มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง ที่ระยะเวลา 0-28 วัน แต่สำหรับ Cyanoacrylate นั้น จะจับกับกรดอะมิโนและน้ำ บนรอยลายนิ้วมือแฝง ในงานวิจัย Cadd (2015) พบว่า กรดอะมิโนมีความเสถียรค่อนข้างมาก สามารถคงอยู่ได้ถึง 236 วัน จึงตอบผลการวิจัยที่ระยะเวลา 14-28 วัน ที่ตรวจเก็บด้วย Cyanoacrylate นั้นมีการลดลงอย่างคงที่ ในส่วนของ Cyanoacrylate นั้นยังสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Paramakul (2018) ที่ทำการศึกษาระยะเวลากการคงอยู่ของรอยลายนิ้วมือแฝงบนถุงพลาสติกสีดำ ด้วย Cyanoacrylate ย้อมด้วย Rhodamine-6-G พบว่าที่ระยะเวลา 0-7 วัน จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษมีการลดลงอย่างต่อเนื่องและที่ 14-28 วันนั้น รอยลายนิ้วมือแฝงมีการลดลงอย่างคงที่

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ทำการเก็บด้วยวิธีการปิดผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate บนถุงพลาสติกซิปล็อคระยะเวลา 28 วัน นำมาวิเคราะห์ผลด้วย สถิติเชิงพรรณนา, สถิติอ้างอิง และ สมการพยากรณ์ระยะเวลา(วัน)กับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง พบว่า วิธีการปิดผงฝุ่นดำนั้น สามารถให้จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงได้มากกว่า Cyanoacrylate ที่ระดับ 0.05 แต่จะพบว่าที่ระยะเวลา 0-21 วันแรกนั้น ทั้งวิธีการปิดผงฝุ่นดำ และ Cyanoacrylate นั้นสามารถตรวจเก็บแล้วนำไปตรวจเปรียบเทียบยืนยันตัวบุคคลได้ แต่ที่ระยะเวลา 28 วันนั้น เฉพาะรอยลายนิ้วมือแฝงวิธีการปิดผงฝุ่นดำไม่สามารถนำไปตรวจเปรียบเทียบยืนยันได้ สำหรับการพยากรณ์ระยะเวลากับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงนั้น สามารถสร้างสมการพยากรณ์ได้ทั้งสองวิธีการตรวจเก็บ ผลลัพธ์จากสมการพยากรณ์ของวิธีการปิดผงฝุ่นดำ มีความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก ($r = 0.990$) และสามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือได้ร้อยละ 98.0 Cyanoacrylate มีความสัมพันธ์ในระดับสูง ($r = 0.894$) ที่ระยะเวลา 0-28 วัน สามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือได้ร้อยละ 80.0 เมื่อพิจารณาจากกราฟค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เก็บด้วย Cyanoacrylate และ ระยะเวลา (วัน) พบว่าในระยะเวลา 0-14 วัน จะมีความชันของกราฟแตกต่างกับระยะเวลา 14-28 วัน จึงแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วงระยะเวลา ทำให้ได้ความสัมพันธ์ที่สูงขึ้นและสมการที่ได้สามารถพยากรณ์ได้แม่นยำขึ้น ค่า r ($r_{0-14} = 0.941$, $r_{14-28} = 0.998$) อยู่ในระดับสูงมาก และ สามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังประทับลายนิ้วมือได้ร้อยละ 88.5 และ 99.6 ตามลำดับ ดังนั้นสำหรับ Cyanoacrylate ทำการสร้างสมการพยากรณ์เป็นสองช่วง เนื่องจาก ที่ระยะเวลา 0-14 วันแนวโน้มการลดลงของจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงนั้นลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ที่ระยะเวลา 14-28 วันลดลงอย่างคงที่ เมื่อทำการแยกสมการพยากรณ์ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

5. เอกสารอ้างอิง

- Adelila, S. 2018. Comparison between latent fingerprint identification using black powder and cyanoacrylate glue. Asian Journal of Chemistry, 30(12), 2615-2620.
- Aroonsangthong, A. 2020. The Comparative Study of the Appearance of Latent Fingerprint on Leather by Using Superglue Method, Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy. (in Thai)
- Cadd, S. 2015. Fingerprint composition and aging: A literature review. Science & Justice, 55(4), 219-238.
- Hinkle, D.E. 1998. Correlation: A measure of relationship. Applied statistics for the behavioral sciences, 4(1), 105-131.
- Pahade, N.K. 2015. A literature on development of latent fingerprint by small particle reagent. The International Journal of Science and Technology, 3(5), 105.
- Paramakul, E. 2018. The Experimental Study of Latent Fingerprints' Stability on Black Garbage bag (Thin type) by Superglue Fuming and Rhodamine-6G Dyeing, Master of Science Program in Forensic Science graduate School, Suansunandha Rajabhat University. (in Thai)
- Wongsongja, N. 2019. Comparison of stability latent fingerprint on plastic. International Academic Multidisciplinary Research Conference in Amsterdam 2019.
- Yamashita, B. 2010. Fingerprint Sourcebook-Chapter 7: Latent Print Development. In: US Dept. of Justice, Office of Justice Programs, National Institute of Justice.

ปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตร

Risk Factors in Agricultural Supply Chain

กาญจนาวรรณ วินิจพิทยากุล^{1*} และ ชมพูนุช พ่วงทรัพย์สิน²

Kanjanawan Vinitpittayakul^{1*} and Chomphoonuch Phuangsusinsin²

¹สาขาเทคโนโลยีโลจิสติกส์และการจัดการระบบขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

¹Logistics Technology and Transportation Management Program, Faculty of Engineering and Architecture

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

*corresponding author, e-mail: kanjanawan_v@rmutto.ac.th หมายเลขโทรศัพท์: 0868009641

บทคัดย่อ

เนื่องจากสินค้าเกษตรเป็นสินค้าที่เน่าเสียง่าย และปริมาณผลผลิตที่ออกสู่ตลาดในแต่ละปีไม่คงที่ เป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมการเพาะปลูก ภัยพิบัติทางธรรมชาติ และโรคระบาด แต่ในความจริงแล้วยังมีปัจจัยอีกมากที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของสินค้าเกษตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและรวบรวมปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดการปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรชนิดต่าง ๆ โดยการทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ โดยปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรที่พบประกอบด้วย ปัจจัยเสี่ยงด้านซัพพลาย (Supply) ด้านความต้องการซื้อและการตลาด (Demand and Market) ด้านกระบวนการผลิต (Production process) ด้านข้อมูล (Information) ด้านโลจิสติกส์ (Logistics) ด้านบัญชีและการเงิน (Accounting and Finance) ด้านสภาพอากาศ (Weather) ด้านแรงงานและบุคลากร (Human) ด้านอุปกรณ์และเทคโนโลยี (Equipment and Technology) ด้านนโยบายและการเมือง (Policy and Political) และด้านที่ดิน (Land) ทั้งนี้ ในการเลือกศึกษาปัจจัยเสี่ยงควรพิจารณาให้สอดคล้องกับชนิดของสินค้าเกษตร กระบวนการปลูก และพื้นที่การเพาะปลูก เพื่อให้การจัดการโซ่อุปทานสินค้าเกษตรเกิดประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากข้อจำกัดที่แตกต่างกันย่อมส่งผลให้วิธีการจัดการปัจจัยเสี่ยงที่แตกต่างกันไปด้วย

คำสำคัญ : ปัจจัยเสี่ยง โซ่อุปทานสินค้าเกษตร สินค้าเกษตร

Abstract

Since agricultural products were perishable products, resulting in fluctuating amounts of produce in the market each year. As a result of the cultivation environment, natural disasters, and epidemics but in fact that many factors that affect the quantity and quality of agricultural products. This research aimed to study risk factors in the agricultural supply chain to be used as a guideline for planning and managing risk factors in various agricultural product supply chains. This research was conducted by literature review in various countries. Risk factors in the agriculture supply chain that were found included supply risk, demand and market risk, production risk, information risk, logistics risk, accounting and finance risk, weather risk, human risk, equipment and technology risk, policy and political risk and land risk. The selection of risk factors should be considered along with the type of agricultural product, planting process and cultivation area for the most efficient management of the agricultural supply chain. Since different limitations resulted in different risk factor management methods.

Keywords : Risk Factors, Agricultural Supply Chain, Agricultural Products

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่า ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศแห่งเกษตรกรรมมาช้านาน เนื่องด้วยประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เหมาะสมแก่การทำเกษตรกรรมในทุกภาคของประเทศไทย ในพื้นที่ภาคเหนือมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่สูง เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำ โดยสภาพดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว เหมาะแก่การทำนาและปลูกพืชไร่ (Office of the National Economic and Social Development Council, 2019) พื้นที่ภาคตะวันออก ภูมิประเทศเป็นพื้นที่ภูเขาสูงและป่าไม้ ตอนล่างเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำและที่ราบชายฝั่งทะเล มีดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินบะซอลต์ หินปูนเหมาะแก่การปลูกพืชสวน เช่น เงาะ ทุเรียน มังคุด (Office of the National Economic and Social Development Council, 2019) พื้นที่ภาคตะวันตก มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงและหุบเขาแม่น้ำที่สูงชัน ลักษณะดินจึงเป็นดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินที่เป็นกรด ส่งผลให้ดินมีลักษณะเป็นดินทราย (Department of Mineral Resources, 2016) พื้นที่ภาคกลางมีลักษณะภูมิประเทศทางฝั่งตะวันตกเป็นพื้นที่สูงตอนกลางเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ ตอนล่างเป็นที่ราบและที่ราบชายฝั่งทะเล มีลักษณะดินเป็นดินลุ่มน้ำหรือดินตะกอนดินในพื้นที่ประกอบด้วย ดินเหนียว เหมาะแก่การปลูกข้าวหรือมะพร้าว ดินร่วนกึ่งปนทราย เหมาะแก่การปลูกพืชไร่ และดินเหนียวต่ำจืด เหมาะแก่การปลูกมะพร้าว ผัก หรือไม้ผลอื่น ๆ (Office of the National Economic and Social Development Council, 2020) พื้นที่ภาคใต้ มีลักษณะภูมิประเทศฝั่งตะวันตกเป็นแนวเทือกเขา ฝั่งตะวันออกมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบขนาดใหญ่เหมาะแก่การเพาะปลูก ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญคือ ยางพารา (Office of the National Economic and Social Development Council, 2020) ด้วยสภาพภูมิประเทศที่ได้เปรียบของประเทศไทยประกอบกับการพัฒนาโซ่อุปทานสินค้าเกษตรฝั่งปลายน้ำ ทั้งการจัดเก็บ แปรรูป และการส่งออก ส่งผลให้ประเทศไทยมีโซ่อุปทานสินค้าเกษตรที่ครบวงจร ที่มีมูลค่าและปริมาณการส่งออกสูง และเป็นส่วนสำคัญในการผลักดันผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP)

ตั้งแต่การค้นพบโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในช่วงเดือนธันวาคมปี พ.ศ. 2562 ทำให้หลายประเทศทั่วโลกประกาศปิดประเทศ ปิดเมือง (Lockdown) ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อภาคการส่งออกของไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสินค้าเกษตรที่ถือเป็นสินค้าเน่าเสียง่าย ข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ระบุว่า มูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรกรรมของในปี พ.ศ. 2562 ที่เริ่มจุดเริ่มต้นของการค้นพบโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 มีมูลค่าเท่ากับ 675,197.65 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2563 มูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรกรรมของไทยลดลงเหลือ 656,172.81 ล้านบาท จากผลกระทบของการ Lockdown เกษตรกรจึงต้องเผชิญกับความเสี่ยงด้านปริมาณผลผลิตที่ล้นตลาดอย่างรุนแรง เนื่องจากไม่มีตลาดรองรับผลผลิตเพียงพอ ปริมาณผลผลิตที่ออกสู่ตลาดไม่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค ส่งผลต่อเนื่องให้ราคาสินค้าเกษตรตกต่ำ อีกทั้งต้องประสบกับความเสี่ยงด้านภัยพิบัติทางธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นอุทกภัย หรือภัยแล้ง รวมถึงความเสี่ยงเรื่องโรคระบาดและศัตรูพืช เกษตรกรจำนวนมากไม่สามารถแบกรับต้นทุนและความเสี่ยงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ จนอาจเว้นการเพาะปลูกในฤดูกาลถัดไปหรือเลิกทำอาชีพเกษตรในที่สุด ดัชนีผลผลิตสินค้าเกษตรทั่วประเทศในหมวดพืชผลสำคัญซึ่งประกอบด้วย กลุ่มธัญพืชและพืชอาหาร กลุ่มไม้ยืนต้น กลุ่มไม้ผล กลุ่มพืชผัก กลุ่มพืชน้ำมัน และกลุ่มพืชไม้ดอก (โดยกำหนดปี พ.ศ. 2548 เป็นปีฐาน) พบว่า ปี พ.ศ. 2562 มีค่าดัชนีรวมผลผลิตที่ 800.45 ปี พ.ศ. 2563 ดัชนีรวมผลผลิตเท่ากับ 764.92 ลดลงถึง 35.4 และในปี พ.ศ. 2564 ดัชนีรวมผลผลิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ที่ 785.69 (Office of Agricultural Economics, 2022) ไม่เพียงแต่ความเสี่ยงด้านปริมาณผลผลิตไม่สอดคล้องกับความต้องการของตลาด และความเสี่ยงด้านภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกษตรกรต้องเผชิญ ยังมีความเสี่ยงอีกหลายด้านที่ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อโซ่อุปทานสินค้าเกษตร ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการโซ่อุปทานสินค้าเกษตรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. วิธีการศึกษา

บทความนี้เป็นบทความวิชาการ (academic article) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตร โดยมีการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นี้ในการรวบรวมข้อมูลใช้วิธีการศึกษาค้นคว้า ทบทวนวรรณกรรม บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีขอบเขตการศึกษาค้นคว้าจากฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือทั้งในและต่างประเทศ งานวิจัยที่ถูกคัดเลือกมาใช้อ้างอิงในการศึกษาปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรนี้ประกอบด้วย 14 งานวิจัย เป็นงานวิจัยในประเทศ 4 ฉบับ และงานวิจัยต่างประเทศ 10 ฉบับ โดยคัดเลือกมาจากประเทศที่มีลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และมีสินค้าเกษตรที่ใกล้เคียงกับประเทศไทย ประกอบด้วยงานวิจัยจากประเทศมาเลเซีย อินเดีย สาธารณรัฐประชาชนจีน สาธารณรัฐอินโดนีเซีย และสาธารณรัฐกานา โดยรวบรวมปัจจัยเสี่ยงทั้งหมดที่พบเพื่อใช้เป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับการศึกษาปัจจัยเสี่ยงของสินค้าเกษตรชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเลือกปัจจัยเสี่ยงจากทั้งหมดที่รวบรวมมาไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาความเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรชนิดนั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงใช้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดการความเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรในอนาคต

3. ผลการศึกษา

ความเสี่ยง (Risk) หมายถึง ความไม่แน่นอนของเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ จึงทำให้ความเสี่ยงเป็นโอกาสที่อาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้เสมอในอนาคต ทำให้เกิดความสูญเสีย ล้มเหลว หรือภัยอันตรายในหมู่สมาชิกหรือองค์ประกอบของหน่วยงาน ส่งผลกระทบต่ออนาคตทำให้การดำเนินงานไม่ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ และเป้าหมายขององค์กรทั้งในด้านยุทธศาสตร์ การปฏิบัติงาน การเงินและการบริหาร (Official of Strategy Management, 2020) ดังนั้นเพื่อให้การบริหารจัดการความเสี่ยงเกิดประสิทธิภาพสูงสุด จึงต้องศึกษาและทำความเข้าใจในความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

จากการทบทวนวรรณกรรม บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศทั้งหมด 14 ฉบับ สามารถจำแนกปัจจัยเสี่ยงที่พบได้ทั้งหมด 15 ปัจจัย ประกอบด้วย ความเสี่ยงด้านซัพพลาย (Supply) ด้านความต้องการซื้อและการตลาด (Demand and Market) ด้านกระบวนการผลิต (Production process) ด้านคุณภาพ (Quality) ด้านข้อมูล (Information) ด้านคลังสินค้าและการจัดเก็บสินค้า (Inventory and Storage) ด้านการขนส่ง (Transportation) ด้านบัญชีและการเงิน (Accounting and Finance) ด้านสภาพอากาศ (Weather) ด้านแรงงานและบุคลากร (Human) ด้านคู่ค้า (Partner) ด้านการจัดการ (Management) ด้านอุปกรณ์และเทคโนโลยี (Equipment and Technology) ด้านนโยบายและการเมือง (Policy and Political) และด้านที่ดิน (Land) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตร

ปัจจัยเสี่ยง	ลำดับ													
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
ด้านซัพพลาย		✓			✓	✓		✓	✓					
ด้านความต้องการซื้อและการตลาด		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ด้านกระบวนการผลิต	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
ด้านคุณภาพ		✓		✓	✓		✓	✓	✓					
ด้านข้อมูล	✓	✓			✓			✓				✓		✓
ด้านคลังสินค้าและการจัดเก็บสินค้า		✓		✓		✓		✓				✓		
ด้านการขนส่ง		✓	✓	✓	✓	✓		✓				✓		
ด้านบัญชีและการเงิน	✓	✓	✓				✓	✓		✓	✓		✓	
ด้านสภาพอากาศ		✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ด้านแรงงานและบุคลากร	✓				✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓
ด้านคู่ค้า		✓				✓								
ด้านการจัดการ	✓			✓	✓							✓		
ด้านอุปกรณ์และเทคโนโลยี		✓			✓				✓	✓	✓	✓		✓
ด้านนโยบายและการเมือง	✓			✓	✓				✓	✓	✓			✓
ด้านที่ดิน										✓			✓	✓

ที่มา:

- อินเดีย (Jaffee et al., 2010)
- สาธารณรัฐอินโดนีเซีย (Suharjito et al., 2012)
- สาธารณรัฐกานา (Yeboah et al., 2014)
- อินเดีย (Ahmad et al., 2015)
- อินเดีย (Siddh et al., 2015)
- อินเดีย (Chaudhuri et al., 2016)
- มาเลเซีย (Radzi et al., 2016)
- สาธารณรัฐประชาชนจีน (Wang et al., 2016)
- อินเดีย (Prakash et al., 2017)
- ไทย (Kongmanee, C, 2017)
- ไทย (Plymoon el al., 2021)
- สาธารณรัฐประชาชนจีน (Deng et al., 2019)
- ไทย (Arruksomboon et al., 2020)
- ไทย (Samantreeporn et al., 2020)

ปัจจัยเสี่ยงด้านซัพพลาย (Supply) ถูกให้นิยามไว้ในมุมมองของความน่าเชื่อถือ ประกอบไปด้วยความถูกต้องของสินค้าซึ่งหมายถึง ต้นกล้า ต้นอ่อน เมล็ดพันธุ์ หรือหน่อที่เกษตรกรนำมาเพาะปลูก รวมถึงปุ๋ยหรือผลิตภัณฑ์กำจัดศัตรูพืชต่าง ๆ ต้องมีความถูกต้องทั้งเรื่องปริมาณและคุณภาพ นอกจากนี้ยังหมายรวมถึงประสิทธิภาพในการดำเนินงานของซัพพลายเออร์ (Supplier) เรื่องการขนส่ง และจัดเก็บสินค้า (Suharjito et al., 2012; Wang et al., 2016; Prakash et al., 2017)

ปัจจัยเสี่ยงด้านความต้องการซื้อและการตลาด (Demand and Market) เป็นปัจจัยเสี่ยงที่ถูกให้ความสำคัญในแทบทุกงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ คำจำกัดความของปัจจัยเสี่ยงด้านนี้คือ ความเสี่ยงที่มาจากโครงสร้างของตลาด ความผันผวนของอุปสงค์และอุปทานเนื่องจากการเลือกไม่บริโภคของผู้บริโภค คุณภาพและมาตรฐานของสินค้า (Suharjito et al., 2012; Ahmad et al., 2015) การกระจายสินค้า และการขาดตลาดรองรับสินค้าเนื่องจากปัญหาด้านการส่งออก (Arruksomboon et al., 2020)

ปัจจัยเสี่ยงด้านกระบวนการผลิต (Production process) ถูกให้คำนิยามว่าหมายถึง ความสามารถในการผลิต กระบวนการผลิต และคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Suharjito et al., 2012)

ปัจจัยเสี่ยงด้านคุณภาพ (Quality) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยเสี่ยงภายในและปัจจัยเสี่ยงภายนอก ปัจจัยภายในประกอบด้วย คุณภาพของวัตถุดิบ ผลผลิต รวมถึงกระบวนการขนส่ง และโลจิสติกส์ ส่วนปัจจัยเสี่ยงภายนอกได้แก่ ฤดูกาล และภัยธรรมชาติ (Suharjito et al., 2012; Wang et al., 2016; Prakash et al., 2017) จะเห็นได้ว่า คำนิยามดังกล่าวถูกระบุไว้ตรงกับปัจจัยเสี่ยงด้านอื่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้แก่ คุณภาพของวัตถุดิบ ถูกระบุในปัจจัยเสี่ยงด้านซัพพลาย ส่วนการขนส่งและโลจิสติกส์อยู่ในความเสี่ยงด้านการขนส่ง ฤดูกาลและภัยธรรมชาติอยู่ในความเสี่ยงด้านสภาพอากาศ ที่จะกล่าวต่อจากนี้ ดังนั้นจึงสามารถตัดปัจจัยเสี่ยงด้านคุณภาพ ออก และกำหนดนิยามเพิ่มในปัจจัยเสี่ยงด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องแทน

ปัจจัยเสี่ยงด้านข้อมูล (Information) หมายถึง ข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ ข้อมูลผลผลิต รวมถึงข้อมูลการบริโภค สินค้าเกษตร ซึ่งปัจจัยเสี่ยงด้านข้อมูลถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากข้อมูลจะถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือ ในการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า และใช้ในการวางแผนการจัดการตลอดทั้งโซ่อุปทาน (Siddh et al., 2015) โดยเฉพาะกับสินค้าเกษตรที่เป็นสินค้าเน่าเสียง่าย หากได้รับข้อมูลที่ผิดพลาดหรือไม่สมบูรณ์อาจเกิดความเสียหาย ต่อทั้งโซ่อุปทานได้

ปัจจัยเสี่ยงด้านคลังสินค้าและการจัดเก็บสินค้า (Inventory and Storage) ปัจจัยเสี่ยงด้านนี้ถูกให้นิยามว่า เกิดจากความไม่แน่นอนของอุปสงค์และอุปทาน รวมถึงตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (Deng et al., 2019) จะเห็นได้ว่า ในงานวิจัยไทยไม่มีการพิจารณาถึงปัจจัยเสี่ยงด้านนี้ อาจเป็นเพราะกระบวนการเพาะปลูกของไทย เมื่อมีการเก็บเกี่ยว จะเก็บเกี่ยวขึ้นยานพาหนะจากนั้นจะถูกเคลื่อนย้ายส่งต่อทันที โดยพ่อค้าคนกลางหรือผู้ประกอบการต่าง ๆ ปัจจัย ตัวต่อมาคือ ปัจจัยเสี่ยงด้านการขนส่ง (Transportation) ถูกนิยามไว้ว่าคือ ความเสี่ยงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ การขนส่ง ความไม่แน่นอนของเวลาที่ใช้ในการขนส่ง รวมถึงโครงสร้างพื้นฐานทางการขนส่ง (Jaffee et al., 2010; Yeboah et al., 2014; Ahmad et al., 2015; Chaudhuri et al., 2016) ปัจจัยเสี่ยงด้านการขนส่งไม่ถูกพิจารณา ในงานวิจัยไทยเช่นกัน อาจเป็นเพราะเกษตรกรไม่ได้มีการขนส่งสินค้าด้วยตนเอง เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งสองแล้ว สามารถ ควบรวมปัจจัยทั้งสองนี้เข้าด้วยกันและกำหนดเป็นปัจจัยด้านโลจิสติกส์ได้ เนื่องจากโลจิสติกส์ครอบคลุมทั้งด้านคลังสินค้า และการขนส่ง จะได้ไม่เกิดความซ้ำซ้อนในการศึกษา

ปัจจัยเสี่ยงด้านบัญชีและการเงิน (Accounting and Finance) ถูกนิยามในหลายความหมายได้แก่ เงินทุนหมุนเวียนสำหรับต้นทุนการผลิต เช่น การซื้อเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพ การลงทุนซื้อเครื่องจักรต่าง ๆ รวมถึงปัจจัย ภายนอกที่ส่งผลต่อเนื่องมาจากสถานะเศรษฐกิจ เช่น อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ แหล่งเงินทุน ซึ่งถูกพบในงานวิจัยทั้งในและ ต่างประเทศ แต่สำหรับงานวิจัยไทยจะพิจารณาในเรื่องของการรับรู้ถึงเรื่องบัญชีและการเงินของเกษตรกรเพิ่มขึ้นมา เนื่องจากพบว่า เกษตรกรไทยไม่ได้ให้ความสำคัญกับการวางแผนจัดการทางการเงินมากนัก รวมถึงการขาดองค์ความรู้ ในด้านการทำบัญชีเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต การชำระคืนเงินกู้ของเกษตรกร รวมถึงผลกระทบที่เกิดจากความ ไม่แน่นอนของรายได้ (Kongmanee, C, 2017; (Samantreeporn et al., 2020); Arruksomboon et al., 2020) ดังนั้นหากจะนำปัจจัยเสี่ยงด้านบัญชีและการเงินไปพิจารณาควรกำหนดความหมายให้ครอบคลุม เพื่อให้นักศึกษามี ประสิทธิภาพมากขึ้น

ปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพอากาศ (Weather) ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่ได้ถูกพิจารณาในเกือบทุกงานวิจัย สภาพอากาศ ในที่นี้หมายถึง ความผันผวนทางธรรมชาติ ภัยพิบัติต่าง ๆ เช่น อุทกภัย วาตภัย ลูกเห็บ ปริมาณน้ำฝนที่ไม่สอดคล้องกับ ความต้องการการเติบโตของผลผลิต รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Jaffee et al., 2010; Suharjito, 2012; Kongmanee, C, 2017; Arruksomboon et al., 2020) นอกจากนี้ยังรวมถึงการชะลอตัวของเศรษฐกิจด้วย เพราะถือเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอีกประการหนึ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Prakash et al., 2017)

ปัจจัยเสี่ยงด้านแรงงานและบุคลากร (Human) ถูกพิจารณาเป็น 3 องค์ประกอบหลัก ๆ นั่นคือ ด้านสรีรวิทยา ด้านจิตวิทยา และด้านคุณภาพของทรัพยากรมนุษย์ ด้านสรีรวิทยาคือ ความผิดปกติของร่างกาย ระบบกล้ามเนื้อและกระดูก รวมถึงความเสี่ยงต่อร่างกายที่เกิดจากการใช้สารเคมีและยากำจัดศัตรูพืช (Ahmad et al., 2015) ด้านจิตวิทยา คือ การบริหารจัดการรับมือกับความเครียดที่เกิดขึ้นในทุกกระบวนการการทำงาน การเกษตร ราคาผลผลิตไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง (Samantreeporn et al., 2020) รวมถึงการรักษาความสัมพันธ์กับคนในครอบครัว (Kongmanee, C, 2017) ด้านคุณภาพของทรัพยากรมนุษย์ หมายถึง เกษตรกรและแรงงานขาดองค์ความรู้เกี่ยวกับการเพาะปลูก สภาพภูมิอากาศ ปัญหาการเงิน รวมถึงการจัดการต้นทุน และคุณภาพของทรัพยากรมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับคุณธรรม จริยธรรม และคุณภาพทางการศึกษา (Siddh et al, 2015; Arruksomboon et al., 2020).

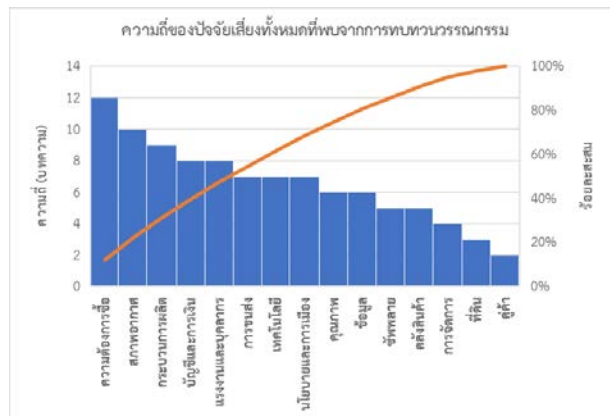
ปัจจัยเสี่ยงด้านคู่ค้า (Partner) ถูกพบในงานวิจัยเพียงแค่ 2 งานวิจัย ซึ่งหมายถึง การเลือกพันธมิตร การสูญเสียเครือข่ายทางธุรกิจ เครือข่ายการสื่อสารและการขนส่ง (Suharjito, 2012) รวมถึงความร่วมมือ ความไว้วางใจและความมีชื่อเสียงของคู่ค้า (Siddh et al., 2015) จากการนิยามข้างต้นพบว่า ปัจจัยเสี่ยงด้านคู่ค้าเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยเสี่ยงด้านซัพพลาย ด้านข้อมูล และด้านการขนส่ง ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความซ้ำซ้อนในการเลือกพิจารณาจึงสามารถยุบรวมปัจจัยเสี่ยงด้านคู่ค้ากับปัจจัยอื่น ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นได้

ปัจจัยเสี่ยงด้านการจัดการ (Management) เป็นปัจจัยเสี่ยงที่ไม่ถูกพบมากนัก ปัจจัยเสี่ยงด้านนี้คือ การจัดการที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของผู้บริหาร เจ้าของสวน หรือเกษตรกรในทุก ๆ กระบวนการของโซ่อุปทาน ตั้งแต่การคัดเลือกซัพพลายเออร์ การคาดการณ์ความต้องการ การตลาด การจัดการคลังสินค้า รวมถึงการกระจายสินค้า (Jaffee et al., 2010; Yeboah et al., 2014) จากการนิยามความหมายดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ปัจจัยเสี่ยงด้านการจัดการเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยเสี่ยงด้านซัพพลาย ด้านความต้องการซื้อและการตลาด และด้านโลจิสติกส์ ตามลำดับ ดังนั้น จึงสามารถรวมปัจจัยเสี่ยงด้านการจัดการเข้ากับปัจจัยเสี่ยงที่กล่าวมาข้างต้นได้เช่นกัน

ปัจจัยเสี่ยงด้านอุปกรณ์และเทคโนโลยี (Equipment and Technology) หมายถึง การขาดการผลิตและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ บุคลากรที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานขาดความเชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยี (Suharjito, 2012) รวมถึงขาดองค์ความรู้ที่จะนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ร่วมกับภูมิปัญญาท้องถิ่น (Plymoon et al., 2021)

ปัจจัยเสี่ยงด้านนโยบายและการเมือง (Policy and Political) ประกอบด้วย นโยบายการคลังและภาษี นโยบายการค้าและการตลาดที่ไม่แน่นอน นโยบายที่ไม่เข้มแข็งพอในการดำเนินการตามระเบียบและข้อบังคับทางการค้า และนโยบายการนำเข้าส่งออกสินค้าเกษตร การผูกขาดตลาดสินค้าเกษตร นโยบายการแทรกแซงราคา การประกันราคาสินค้าเกษตร และนโยบายการช่วยเหลือที่ไม่ต่อเนื่องของภาครัฐ (Jaffee et al., 2010; Yeboah et al., 2014; Kongmanee, C, 2017; Samantreeporn et al., 2020) ปัจจัยเสี่ยงด้านนโยบายและการเมืองยังรวมถึงประเด็นด้านกฎหมาย การหยุดชะงักทางการเมืองทั้งในและนอกสภา และการชุมนุมประท้วงด้วยเช่นกัน (Ahmad et al., 2015)

ปัจจัยเสี่ยงด้านที่ดิน (Land) หมายถึง การจัดโซนพื้นที่เพาะปลูก เกษตรกรมีที่ดินน้อยหรือไม่มีที่ดินเป็นของตนเอง การต้องเช่าที่ดินในการทำเกษตร และค่าเช่าที่ดินแพงเกินจริง รวมถึงปัญหาการใช้ที่ดินเพื่อการเพาะปลูกซึ่งประกอบด้วย สภาพธรรมชาติของดิน การใช้ที่ดินโดยปราศจากการบำรุงรักษา และการชะล้างพังทลายของดินทำให้ดินสูญเสียธาตุอาหารอินทรีย์วัตถุ (Arruksomboon et al., 2020; Samantreeporn et al., 2020) โดยปัจจัยเสี่ยงทั้งหมดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลำดับความถี่ของปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรที่พบจากการทบทวนวรรณกรรม

ภาพที่ 1 แสดงลำดับความถี่ของปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรที่พบจากการทบทวนวรรณกรรม โดยปัจจัยเสี่ยงด้านความต้องการซื้อและการตลาดถูกพบมากเป็นอันดับหนึ่งคือ 12 งานวิจัย ถัดมาคือด้านสภาพอากาศ 10 งานวิจัย และด้านกระบวนการผลิต 9 งานวิจัย ด้านบัญชีและการเงิน ด้านแรงงานและบุคลากรถูกพบเท่ากันที่ 8 งานวิจัย ด้านการขนส่ง ด้านอุปกรณ์และเทคโนโลยี และด้านนโยบายและการเมืองถูกพบเท่ากันที่ 7 งานวิจัย ด้านคุณภาพและด้านข้อมูล ถูกพบใน 6 งานวิจัย ด้านซัพพลายและคลังสินค้าถูกพบใน 5 งานวิจัย ส่วนด้านการจัดการ ด้านที่ดิน และด้านคู่ค้า ถูกพบใน 4 งานวิจัย 3 งานวิจัย และ 2 งานวิจัย ตามลำดับ

4. บทวิเคราะห์

จากการทบทวนวรรณกรรม บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่พบได้ดังนี้ ปัจจัยเสี่ยงด้านซัพพลาย เป็นที่น่าสังเกตว่า ถูกเลือกใช้เฉพาะในงานวิจัยต่างประเทศเท่านั้น อาจเป็นเพราะว่า การศึกษาความเสี่ยงของสินค้าเกษตรจากงานวิจัยภายในประเทศที่พบ เป็นการศึกษาสินค้าเกษตรประเภทไม้ยืนต้นเป็นส่วนใหญ่ (ลิ้นจี่ ฝรั่ง พารา และมะม่วง) จึงไม่ได้มีการใช้เมล็ด ต้นกล้า หรือหน่อ แต่หากเป็นการศึกษาความเสี่ยงของสินค้าเกษตรที่ต้องเริ่มต้นเพาะจากเมล็ด ต้นกล้า หรือหน่อแล้ว อย่างเช่น สับปะรด อ้อย หรือข้าว หรือเป็นการเริ่มเพาะปลูกสินค้าเกษตรชนิดต่าง ๆ ในครั้งแรกปัจจัยเสี่ยงด้านซัพพลายถือเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากถ้าได้เมล็ด ต้นกล้า หรือหน่อที่มีคุณภาพมาเพาะปลูก ก็จะส่งผลให้ได้แนวโน้มสินค้าเกษตรที่มีคุณภาพตามไปด้วย และถือเป็นการสร้างรากฐานผลผลิตที่มีคุณภาพ

ส่วนปัจจัยเสี่ยงด้านความต้องการซื้อและการตลาด เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ควรให้ความสำคัญ ซึ่งเห็นได้ชัดจากสถานการณ์การปิดประเทศเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 ที่ผ่านมาของหลาย ๆ ประเทศ ส่งผลให้ปัจจัยเสี่ยงด้านนี้ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสินค้าเกษตรเป็นสินค้าเน่าเสียง่ายไม่สามารถเก็บรักษานาน สินค้าหลายชนิดถูกปล่อยให้เน่าเสียเพราะไม่สามารถส่งออกได้ และไม่มีตลาดภายในประเทศรองรับเพียงพอ เกิดภาวะสินค้าล้นตลาด ราคาสินค้าตกต่ำ ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับปัจจัยเสี่ยงด้านความต้องการซื้อและการตลาดในการศึกษาความเสี่ยงของโซ่อุปทานสินค้าเกษตร

เนื่องจากปัจจัยเสี่ยงด้านกระบวนการผลิตหมายถึง ความสามารถในการผลิต และคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต จึงเปรียบได้กับขั้นตอนการเพาะปลูกสินค้าเกษตร ตั้งแต่การเตรียมดิน การดูแลรักษา รวมถึงการเก็บเกี่ยว ซึ่งขั้นตอนการปลูกพืชแต่ละชนิดย่อมมีข้อควรปฏิบัติและไม่ควรปฏิบัติที่แตกต่างกันไป ดังนั้นปัจจัยเสี่ยงด้านกระบวนการผลิต ถือเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ต้องให้ความสำคัญ

ในการบริหารจัดการข้อมูลในระบบโซ่อุปทานถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดว่า การบริหารจัดการนั้นมีประสิทธิภาพหรือไม่ เนื่องจากข้อมูลในโซ่อุปทานถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า

การวางแผนการผลิต การขนส่งและการกระจายผลผลิตไปสู่ผู้บริโภค โดยเฉพาะสำหรับสินค้าเกษตรที่เป็นสินค้านำเข้า เสี่ยงง่าย และปริมาณผลผลิตสินค้าเกษตรต่อปีไม่คงที่ หากได้รับข้อมูลที่ผิดพลาดหรือไม่สมบูรณ์อาจเกิดความเสียหายต่อทั้งโซ่อุปทานได้

ในการกำหนดความหมายของปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพอากาศ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าถูกกำหนดความหมายในด้านความผันผวนทางธรรมชาติ สภาพสิ่งแวดล้อมและภัยพิบัติต่าง ๆ แต่เนื่องจากคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรไม่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อมและสภาพอากาศเท่านั้น ยังรวมถึงแมลง ศัตรูพืช และโรคระบาดอีกด้วย ดังนั้นหากพิจารณาถึงปัจจัยเสี่ยงด้านนี้ ควรกำหนดคาน้ำยามให้ครบและครบครอบคลุม

ส่วนปัจจัยเสี่ยงด้านอุปกรณ์และเทคโนโลยีก็ถือเป็นปัจจัยที่ไม่ควรมองข้าม เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าและทันสมัยมาก การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการเกษตรจะส่งผลดีต่อโซ่อุปทานสินค้าเกษตรในหลาย ๆ ด้าน ทั้งเป็นเครื่องมือทุ่นแรง เครื่องมือในการเพิ่มและรักษาคุณภาพผลผลิต และลดความผิดพลาดของมนุษย์ (Human Error) ลงได้

ปัจจัยเสี่ยงด้านนโยบายและการเมือง เป็นปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานสินค้าเกษตรเป็นอย่างมาก เนื่องจากนโยบายทางการค้าที่แตกต่างกัน รวมถึงความสามารถในการบริหารจัดการที่ไม่เท่ากันของแต่ละรัฐบาล ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตสินค้าเกษตรที่จะออกสู่ตลาดเป็นอย่างมาก เช่น ถ้ารัฐบาลมีการกำหนดนโยบายประกันราคาสินค้าเกษตรชนิดไหนสูง ในปีเดียวกันนั้นเกษตรกรก็จะนิยมปลูกสินค้าเกษตรชนิดนั้นจนอาจทำให้เกิดสภาวะสินค้าล้นตลาดได้ หากรัฐบาลไม่มีความสามารถในการบริหารจัดการกับสินค้าเกษตรเหล่านั้นอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหากเป็นการศึกษาปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรที่ต้องพึ่งพานโยบายการบริหารจัดการของรัฐบาลเป็นตัวกำหนดทิศทางแล้ว ก็ควรจะพิจารณาปัจจัยเสี่ยงด้านนโยบายและการเมืองควบคู่ไปด้วย

ปัจจัยเสี่ยงด้านที่ดินถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ควรพิจารณา เนื่องจากปัจจัยนี้ถูกพบเฉพาะในงานวิจัยของประเทศไทยเท่านั้น แสดงให้เห็นว่า เกษตรกรในต่างประเทศไม่ต้องเผชิญกับปัญหาด้านที่ดิน หรืออาจเกิดปัญหาน้อยมากจนไม่ส่งผลกระทบต่อการทำการเกษตร ซึ่งตรงข้ามกับเกษตรกรของประเทศไทยที่ปัญหาเรื่องที่ดินเป็นปัญหาใหญ่ในการทำการเกษตร ดังนั้นในการศึกษาปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรควรต้องพิจารณาปัจจัยเสี่ยงด้านที่ดินอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้การเลือกศึกษาปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรต้องพิจารณาถึงชนิดหรือประเภทของสินค้าเกษตร กระบวนการดำเนินงานในโซ่อุปทาน และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันของสินค้าเกษตรชนิดนั้น ๆ

5. สรุป

จากการศึกษาปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรโดยการทบทวนวรรณกรรม บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยเสี่ยงที่ควรนำมาพิจารณาประกอบด้วย ปัจจัยเสี่ยงด้านซัพพลาย (Supply) ด้านความต้องการซื้อและการตลาด (Demand and Market) ด้านกระบวนการผลิต (Production process) ด้านข้อมูล (Information) ด้านโลจิสติกส์ (Logistics) ด้านบัญชีและการเงิน (Accounting and Finance) ด้านสภาพอากาศ (Weather) ด้านแรงงานและบุคลากร (Human) ด้านอุปกรณ์และเทคโนโลยี (Equipment and Technology) ด้านนโยบายและการเมือง (Policy and Political) และด้านที่ดิน (Land) ทั้งนี้การเลือกศึกษาปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตรที่กล่าวมานี้ จะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับชนิดของสินค้าเกษตร รูปแบบและลักษณะการทำการเกษตร และพื้นที่ทำการเกษตร เนื่องจากสินค้าเกษตรแต่ละชนิด ลักษณะการทำการเกษตรแต่ละรูปแบบ และพื้นที่แต่ละพื้นที่จะมีความเสี่ยงที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงต้องเลือกวิธีการศึกษาความเสี่ยงและวิธีการจัดการความเสี่ยงที่แตกต่างกันให้เหมาะสมกับสินค้าเกษตรชนิดนั้น ๆ เพื่อให้การจัดการโซ่อุปทานสินค้าเกษตรเกิดประสิทธิภาพอย่างยั่งยืนมากที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, S. and M. Jamshed. 2015. **Sustainable Agriculture through Supply Chain Risk Management in India**. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Global Business, Economics, Finance and Social Sciences (GB15Kolkata Conference)*.
- Arruksomboon, P., N. Buapliansee and W. Pilajun. 2020. **Farm management for risk management in mango production of farmers in Chachoengsao province**. *Journal of Suvarnabhumi Institute of Technology (Humanities and Social Sciences)*. 6(1): 370-386.
- Chaudhuri, A., S.K. Srivastava, R.K. Srivastava and Z. Parveen. 2016. **Risk propagation and its impact on performance in food processing supply chain: a fuzzy interpretive structural modeling-based approach**. *Journal of Modelling in Management*.
- Deng, X., X. Yang, Y. Zhang, Y. Li and Z. Lu. 2019. **Risk propagation mechanisms and risk management strategies for a sustainable perishable products supply chain**. *Computers & Industrial Engineering*. 135: 1175-1187.
- Department of Mineral Resources. 2016. **Geology of the North and the Upper West**. http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=6824&filename=index. Accessed 1 May 2022. (in Thai)
- Jaffee, S., P. Siegel and C. Andrews. 2010. **Rapid agricultural supply chain risk assessment: A conceptual framework**. *Agriculture and rural development discussion paper*. 47(1): 1-64.
- Kongmanee, C. 2017. **The perception of Risks and Risk Management Strategies of Rubber Family Farms in Southern Thailand**. National Research Council of Thailand (NRCT).
- Office of Agricultural Economics. 2022. **Agricultural Production Index**. <https://shorturl. ae/DlenT>. Accessed 1 May 2022. (in Thai)
- Official of Strategy Management. 2020. **Risk Management**. http://www.osm.kmitl.ac.th /osm2020/file/ita/2563/manual_risk_2563.pdf. Accessed 3 May 2022. (in Thai)
- Office of the National Economic and Social Development Council. 2019. **Eastern region development plan**. https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=7527. Accessed 1 May 2022. (in Thai)
- Office of the National Economic and Social Development Council. 2019. **Northern Development Plan**. https://rae.mju.ac.th/goverment/20130325103535_2013_rae /Doc_25621108093206_783906.pdf. Accessed 1 May 2022. (in Thai)
- Office of the National Economic and Social Development Council. 2020. **Regional Development Plan 2017-2022 Review**. https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php ?nid=10196&filename=index. Accessed 1 May 2022. (in Thai)
- Office of the National Economic and Social Development Council. 2020. **Southern Development Plan**. http://wise.co.th/wise/References/Thailand_Development/Southern_Group_Plan_2563.pdf. Accessed 1 May 2022. (in Thai)
- Office of the Permanent Secretary Ministry of Commerce. 2020. **Thailand's Major Exports Sorted by Value 2016 - 2020 (January - December)**. <http://www.ops3. moc.go.th/export/report.asp>. Accessed 1 May 2022. (in Thai)

- Plymoon, S., P. Tongdeelert and S. Rangsihaht, S. 2021. **Risk management in agriculture of lychee farmers, Amphawa district, Samut Songkhram province.** Khon Kaen Agriculture Journal. 46(2): 375-386
- Prakash, S., G. Soni, A.P.S. Rathore and S. Singh. 2017. **Risk analysis and mitigation for perishable food supply chain: a case of dairy industry.** Benchmarking: An International Journal.
- Radzi, R.M., I.M. Saidon and N.A. Ghani. 2016. **Risk management in food supply chains by Japanese food companies in Malaysia.** International Journal of Business Management & Economic Research. 7(6): 778-787.
- Samantreeporn, S., C. Chaithawee and C. Lamtan. 2020. **The administration of risks and dangers in agriculturalists growing field crops in Nakhon Sawan area province.** Journal of MCU Peace Studies. 8(1): 268-278
- Siddh, M.M., G. Soni and R. Jain. 2015. **Perishable food supply chain quality (PFSCQ): A structured review and implications for future research.** Journal of Advances in Management Research.
- Suharjito, M. and M. Marimin. 2012. **Risks balancing model of agri-supply chain using fuzzy risks utility regression.** Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 41(2): 13-23.
- Wang, Y. and H.X. Hao. 2016. **Research on the supply chain risk assessment of the fresh agricultural products based on the improved toptsis algorithm.** Chemical Engineering Transactions. 51: 445-450.
- Yeboah, N.E., Y. Feng, O.S. Daniel and N.B. Joseph. 2014. **Agricultural supply chain risk identification-a case finding from Ghana.** Journal of management and strategy. 5(2): 31.

(Received: 3/Jun/2022, Revised: 20/Dec/2022, Accepted: 22/Dec/2022)

**คุณภาพน้ำและความหลากหลายของแพลงก์ตอนในแหล่งเลี้ยงหอย
บริเวณปากน้ำกะตะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี**
**Water Quality and Diversity of Plankton in Shellfish Culture
at Kadea Estuary, Kanchanadit Suratthani Province**

ปณณนุช สุขหิรัญ* กันทิมา บุนยอยู่ วิภาวรรณ นวลช่วย และ นรานันท์ ขำมณี
**Poonyanuch Sukhirun*, Kanthimai Bunyu, Wipawan Nunchuay
and Naranun Khummanee**

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
Program in Environmental Science and Technology Faculty of Science and Technology,
Suratthani Rajabhat University

*E-mail: poonyanuch1311@gmail.com โทร. 083-4496653

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณภาพน้ำและความหลากหลายของแพลงก์ตอนในแหล่งเลี้ยงหอยบริเวณปากน้ำกะตะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยทำการเก็บตัวอย่างศึกษาทั้งหมด 5 สถานี ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2562 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำพบว่า อุณหภูมิของน้ำ ค่าความโปร่งแสง ความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ ค่าบีโอดี และออร์โธฟอสเฟต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.58 ± 0.41 องศาเซลเซียส, 29.96 ± 1.10 เซนติเมตร, 18.46 ± 0.43 ส่วนในพันส่วน, 17.74 ± 0.378 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร, 7.10 ± 0.13 , 5.54 ± 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร, 3.60 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.20 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน น้ำทะเลชายฝั่งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และจากการศึกษาความหลากหลาย ของแพลงก์ตอน พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 2 ดิวิชัน คือ ดิวิชันโครโมไฟตา (Division Chromophyta) 5 สกุล ดิวิชันคลอโรไฟตา (Division Chlorophyta) 1 สกุล โดยแพลงก์ตอนพืชสกุลเด่น คือ *Gyrosigma* sp. และ *Coscinodiscus* sp. และพบแพลงก์ตอนสัตว์ 1 ไฟลัม คือ ไฟลัมอาร์โทรพอดา (Phylum Arthropoda) 3 สกุล แพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มเด่น คือ กลุ่ม Copepod nauplii ค่าดัชนีความหลากหลายของชนิด และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอน มีค่าเท่ากับ 0.486 และ 0.776 ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแพลงก์ตอนกับคุณภาพน้ำ พบว่าแพลงก์ตอนทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าอุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

คำสำคัญ : แพลงก์ตอน คุณภาพน้ำ แหล่งเลี้ยงหอย ปากน้ำกะตะ

Abstract

Study on diversity of plankton and water quality in shellfish culture at Kadea Estuary, Kanchanadit Suratthani Province was conducted. Samples were collected from 5 stations during June - August 2019. The results of water quality including water temperature, transparency, salinity, conductivity, pH, dissolved oxygen, BOD and orthophosphate were examined. Their mean values were $29.58 \pm 0.41^{\circ}\text{C}$, 29.96 ± 1.10 cm, 18.46 ± 0.43 ppt, 17.74 ± 0.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 7.10 ± 0.13 , 5.54 ± 0.30 mg/L, 3.60 ± 0.13 mg/L, and 0.20 ± 0.01 mg/L, respectively. Water quality was in the standard of coastal sea water for aquaculture. The results for the study on plankton diversity showed that there were 2 Divisions of phytoplankton, 5 genera in Chromophyta and 1 genus in Chlorophyta. The dominant

species belonged to genus *Gyrosigma* sp., and *Coscinodiscus* sp. There was 1 Phylum of zooplankton, 3 genera in Arthropoda. The dominant species of zooplankton belonged to Copepod nauplii. The Index of species diversity and evenness index of plankton were 0.486 and 0.776 respectively. The observed indices related to plankton exhibited were significantly negative correlations with the water temperature and pH ($p < 0.01$).

Keywords : plankton, water quality, shellfish culture area, Kadea Estuary

1. บทนำ

ปากน้ำกะแดะเป็นพื้นที่ป่าชายเลนที่ติดกับทะเลและริมคลอง เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำ ตั้งอยู่ใกล้เขตชุมชน และท่าเรือ พื้นที่นี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมที่พัดประจำเป็นฤดู 2 ชนิด คือลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้ได้รับไอน้ำและความชุ่มชื้นมาก อุณหภูมิจึงไม่สูงและอากาศไม่ร้อนจัดในฤดูร้อน มีลำคลองท่าทองใหม่ไหลผ่านไปออกอ่าวบ้านดอน ประชาชนตั้งบ้านเรือนหนาแน่นตามริมฝั่งคลอง ส่วนใหญ่ประกอบประมง (Cultural and Natural Environment Management Bureau, 2018) ซึ่งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นอาชีพที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรและสร้างชื่อเสียงเข้ามาสู่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และบริเวณปากน้ำกะแดะ จัดเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่สำคัญแห่งหนึ่งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเฉพาะการเลี้ยงหอยทะเล ทั้งหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม การสำรวจสถิติการเลี้ยงหอยทะเลปี 2560 พบว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีจำนวนฟาร์มเลี้ยงหอยมากเป็นอันดับ 2 ของประเทศจำนวน 874 ฟาร์ม หรือร้อยละ 17.29 ของจำนวนฟาร์มเลี้ยงหอยทั้งหมด และมีมูลค่าผลผลิตมากที่สุดของประเทศ 1,247.61 บาท หรือร้อยละ 29.35 ของมูลค่าทั้งหมด (Fishery Statistics Analysis and Research Group, 2018) แต่ปัจจุบันพบว่า บริเวณปากอ่าวมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางธรรมชาติไปอย่างมาก เนื่องมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของคนในชุมชน เช่น การเปิดกิจการร้านอาหารบริเวณปากอ่าว การทำฟาร์มหอยชนิดต่าง ๆ และการปล่อยน้ำเสียสิ่งปฏิกูลลงสู่แม่น้ำ กิจกรรมเหล่านี้อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารสามารถส่งผลต่อแพลงก์ตอนซึ่งเป็นผลผลิตขั้นต้นและห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำ (Charoenvattanaporn and Satapoomin, 2008) ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของการเพาะเลี้ยงหอยบริเวณนั้น

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงสนใจศึกษาคุณภาพน้ำและความหลากหลายของแพลงก์ตอนในแหล่งเลี้ยงหอยบริเวณปากน้ำกะแดะ เนื่องจากข้อมูลศึกษาวิจัยเผยแพร่ยังมีน้อย และผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการเพาะเลี้ยงหอย รวมไปถึงสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเลเพื่อความต้องการของผู้บริโภคให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 พื้นที่ศึกษาและการกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

ทำการศึกษาแหล่งเลี้ยงหอยบริเวณปากน้ำกะแดะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 สถานี โดยห่างจากปากน้ำระยะทาง 1,000 เมตร แต่ละสถานีห่างกัน 500 เมตร เก็บตัวอย่างน้ำทุกวันทั้ง 25 ของทั้ง 3 เดือน ช่วงเวลา 7.00 - 12.00 น. ตามสถานีเก็บตัวอย่างดังนี้ สถานีที่ 1 (St1) พิกัด $9^{\circ}13'00.67''N$, $99^{\circ}28'13.33''E$ สถานีเก็บที่ 2 (St2) พิกัด $9^{\circ}12'50.96''N$, $99^{\circ}27'59.04''E$ สถานีที่ 3 (St3) พิกัด $9^{\circ}13'10.26''N$, $99^{\circ}28'01.63''E$ สถานีที่ 4 (St4) พิกัด $9^{\circ}13'18.08''N$, $99^{\circ}28'19.37''E$ สถานีที่ 5 (St5) พิกัด $9^{\circ}13'19.28''N$, $99^{\circ}28'36.88''E$ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ภาพแสดงสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ

2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำและแฟล่งก์ตอน

เก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 5 สถานี โดยตรวจวัดความลึก อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำ ค่าความโปร่งแสง ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความเค็ม และค่าความเป็นกรด-ด่าง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำตามวิธีมาตรฐานแล้วนำกลับไปห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เพื่อตรวจวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลายน้ำ (ค่าดีไอ) ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ค่าบีโอดี) และปริมาณออร์โธฟอสเฟต

การเก็บตัวอย่างแฟล่งก์ตอนเพื่อศึกษาหาชนิด ปริมาณ ค่าดัชนีความหลากหลาย และค่าดัชนีความสม่ำเสมอ ตามสถานีที่กำหนด เก็บตัวอย่างในแนวตั้งโดยใช้เครื่องมือ Kemmerer Depth Sampler ในระดับความลึกที่แสงส่องถึง ปริมาตร 20 ลิตร เทตัวอย่างผ่านถุงกรองแฟล่งก์ตอนขนาด 23 ไมโครเมตร ให้ได้ปริมาตรที่กรองแล้ว 100 มิลลิลิตร (Rujit et al., 2014) จากนั้นเทลงในขวดเก็บตัวอย่างแฟล่งก์ตอน และเก็บรักษาสภาพด้วยแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปศึกษาในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเป็นไปตามมาตรฐานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ที่กำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ของ APHA, AWWA and WPCF (2017) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ดัชนีคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Thermometer
2. อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)	Thermometer
3. ความโปร่งแสง (เซนติเมตร)	แผ่นวัดความโปร่งแสง (Secchi dish)
4. ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	Salinity Meter ของ AMTAST Model AMT03R
5. ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)	Conductivity Meter ของ AMTAST Model AMT03R
6. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	Electrometric Method (pH meter) ของ AMTAST Model AMT03R
7. ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Azide Modification of the Winkler method
8. บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5 Day incubation and Azide Modification of the Winkler method
9. ออร์โธฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Ascorbic acid method

2.4 การศึกษาแปลงก่ตอน

ทำการศึกษานิตและปริมาณของแปลงก่ตอนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ภายในห้องปฏิบัติการ โดยดูตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร หยดลงแผ่นสไลด์นับแปลงก่ตอน (Sedgwick-Rafter) จากนั้นทำการจำแนกชนิดแปลงก่ตอนภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง แต่ละตัวอย่างจะทำการสุ่มนับ 3 ครั้ง แล้วนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย และนำข้อมูลที่นับได้มาคำนวณหาปริมาณแปลงก่ตอน ค่าดัชนีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยใช้ Shannon-Wiener diversity index และคำนวณหาค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิด โดยใช้ Shannon-Wiener's evenness

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ และเคมีในแต่ละเดือน ความหลากหลายของแปลงก่ตอน และหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับแปลงก่ตอนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ชนิด Two-tailed

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำในแหล่งเลี้ยงหอยบริเวณปากน้ำกะตะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี สามารถบอกได้ว่าค่าคุณภาพน้ำ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 3 (คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) พบว่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.58 ± 0.41 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับการศึกษาของ Tidkongrach (2017) อุณหภูมิอากาศ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.29 ± 0.46 องศาเซลเซียส ค่าความโปร่งแสงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.96 ± 1.10 เซนติเมตร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าความลึกของน้ำอยู่ที่ 1.3 เมตร ความเค็มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.46 ± 0.43 ส่วนในพันส่วน จากการศึกษพบว่าความเค็มของน้ำยังมีค่าน้อยอยู่ แต่อาจเป็นเพราะบริเวณที่ศึกษาเป็นบริเวณปากน้ำซึ่งน้ำบริเวณนี้จัดอยู่ในประเภทน้ำกร่อยความเค็มของน้ำบริเวณพื้นที่ศึกษาจึงมีค่าน้อย ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.74 ± 0.37 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ดังนั้นบริเวณพื้นที่ที่ศึกษาจึงมีความหนาแน่นของเกลืออยู่น้อย ความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.10 ± 0.13 สอดคล้องกับการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ บริเวณอ่าวบ้านดอน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ย 7.51 ± 0.05 (Tidkongrach, 2017) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่งทะเลประเภทที่ 3 อยู่ในช่วง 7-8.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (Pollution Control Department, 2021) ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.54 ± 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Tidkongrach (2017) และเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 3.60 ± 0.13 ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณปากอ่าวบ้านดอน บริเวณที่มีการเลี้ยงหอยนางรมและหอยแครง (Tidkongrach, 2017) ซึ่งได้รับการปนเปื้อนจากของเสียจากการเพาะเลี้ยงหอย ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คุณภาพน้ำในแหล่งเลี้ยงหอยบริเวณปากน้ำกะตะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี เดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม 2562

คุณภาพน้ำ	เดือน			ค่าเฉลี่ยทั้งหมด
	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	
อุณหภูมิน้ำ (°C)	28.87 $\pm$ 0.46	29.00 $\pm$ 0.37	30.87 $\pm$ 0.39	29.58 $\pm$ 0.41
อุณหภูมิอากาศ (°C)	25.33 $\pm$ 0.46	25.47 $\pm$ 0.46	25.07 $\pm$ 0.48	25.29 $\pm$ 0.46
ค่าความโปร่งแสง (cm)	23.30 $\pm$ 1.02	29.43 $\pm$ 1.21	37.13 $\pm$ 1.08	29.96 $\pm$ 1.10
ค่าความเค็ม (ppt)	15.66 $\pm$ 0.34	19.33 $\pm$ 0.36	20.40 $\pm$ 0.55	18.46 $\pm$ 0.43
ค่าการนำไฟฟ้า (μ S/cm)	16.48 $\pm$ 0.90	18.56 $\pm$ 0.09	18.18 $\pm$ 0.14	17.74 $\pm$ 0.37
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.04 $\pm$ 0.06	7.66 $\pm$ 0.06	7.61 $\pm$ 0.28	7.10 $\pm$ 0.13
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	5.63 $\pm$ 0.35	5.02 $\pm$ 0.32	5.97 $\pm$ 0.24	5.54 $\pm$ 0.30
ค่าบีโอดี (mg/L)	2.77 $\pm$ 0.15	5.17 $\pm$ 0.12	2.86 $\pm$ 0.10	3.60 $\pm$ 0.13
ออร์โธฟอสเฟต (mg/L)	0.17 $\pm$ 0.00	0.25 $\pm$ 0.01	0.17 $\pm$ 0.01	0.20 $\pm$ 0.01

และจากการศึกษาแพลงก์ตอนพบว่า มีปริมาณแพลงก์ตอนรวมทั้งหมด 564,560 เซลล์ต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 188,187 เซลล์ต่อลิตร (ตารางที่ 4) และพบปริมาณแพลงก์ตอนมากที่สุดในเดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม คิดเป็นร้อยละ 48, 30 และ 22 ตามลำดับ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ปริมาณของแพลงก์ตอนระหว่างเดือนมิถุนายน - เดือนสิงหาคม 2562

พบแพลงก์ตอนพืช 2 ดิวิชัน คือ ดิวิชันโครโมไฟตา (Division Chromophyta) และ ดิวิชันคลอโรไฟตา (Division Chlorophyta) และพบแพลงก์ตอนสัตว์ 1 ไฟลัม คือ ไฟลัมอาร์โทรโพดา (Phylum Arthropoda) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Paibulkichakul *et al.* (2018) พบว่าแพลงก์ตอนสัตว์ไฟลัมเด่นบริเวณปากแม่น้ำพังราด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นแหล่งอนุบาลลูกหอยนางรม คือ ไฟลัมอาร์โทรโพดา และจากการศึกษาครั้งนี้ในเดือนมิถุนายนจะพบแพลงก์ตอนพืชดิวิชันเด่น คือ ดิวิชันโครโมไฟตา 2 สกุล ชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Gyrosigma* sp. รองลงมา คือ *Coscinodiscus* sp. ซึ่งไดอะตอมสกุลนี้สามารถใช้เป็นดัชนีวัดความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารบริเวณปากน้ำกะตะทำให้ชาวประมงสามารถเพาะเลี้ยงหอยได้ เช่นเดียวกับชายฝั่งแหลมผักเบี้ยมีไดอะตอมสกุล *Coscinodiscus* ปริมาณมากทำให้ชาวประมงพื้นที่นั้นและพื้นที่ใกล้เคียงสามารถทำประมงหอยตลับได้ทั้งปี (Khowhit *et al.*, 2015) ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์ไฟลัมเด่นที่พบคือ ไฟลัมอาร์โทรโพดา มี 2 สกุล และ 2 กลุ่ม ตัวอ่อน (nauplius) และชนิดที่พบมากที่สุด คือ กลุ่ม Copepod nauplii รองลงมา คือ *Harpacticoid copepod*, กลุ่ม Nauplius shrimps และ *Lecane* sp. ในเดือนกรกฎาคมจะพบแพลงก์ตอนพืชดิวิชันเด่น คือ ดิวิชันโครโมไฟตา มี 4 สกุล ชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Gyrosigma* sp. รองลงมา คือ *Coscinodiscus* sp., *Surirella* sp., *Coscinodiscus crenulatus* และ *Thalassionema nitzschioides* ตามลำดับ ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์ไฟลัมเด่นที่พบ คือ ไฟลัมอาร์โทรโพดา มี 2 สกุล และ 2 กลุ่มตัวอ่อน ชนิดที่พบมากที่สุด คือ

กลุ่ม Copepod nauplii รองลงมา คือ กลุ่ม Nauplius shrimps, *Harpacticoid copepod* และ *Calanoid copepod* และเดือนสิงหาคมแพลงก์ตอนพืช ดิวิชันเด่นที่พบในการศึกษาครั้งนี้ คือ ดิวิชันโครโมไฟตา มี 5 สกุล โดยมีแพลงก์ตอนพืชชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Gyrosigma* sp. รองลงมา คือ *Odontella sinensis*, *Thalassionema nitzschioides*, *Coscinodiscus* sp. และ *Surirella* sp. และดิวิชันคลอโรไฟตา ชนิดเด่นที่พบ คือ *Ulothrix zonata* ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์ไฟลัมเด่น คือ ไฟลัมอาร์โทรโพดา มี 2 กลุ่ม ชนิดที่พบมากที่สุด คือ กลุ่ม Copepod nauplii และ *Harpacticoid copepod* เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 เดือน คือ เดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม พ.ศ. 2562 พบว่าเดือนกรกฎาคมพบชนิดของแพลงก์ตอนมากที่สุด (ตารางที่ 3)

ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอน พบว่ามีค่ารวมทั้งหมดเท่ากับ 1.412 และในเดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม มีค่าเท่ากับ 0.450, 0.476 และ 0.532 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Charoenvattanaporn and Satapoomin (2008) ได้ติดตามตรวจสอบชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งทะเลรอบเกาะภูเก็ต ค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในช่วง 0.25-1.17 และในเดือนมิถุนายน 2549 มีค่าดัชนีความหลากหลายน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน และ ค่าดัชนีความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอน มีค่ารวมทั้งหมดเท่ากับ 2.328 ในเดือนมิถุนายน กรกฎาคม และ เดือนสิงหาคม มีค่าเท่ากับ 0.784, 0.779 และ 0.765 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับการศึกษาของ Charoenvattanaporn and Satapoomin (2008) ได้ติดตามตรวจสอบชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งทะเลรอบเกาะภูเก็ต ค่าดัชนีความสม่ำเสมออยู่ในช่วง 0.37-0.99

ตารางที่ 3 ชนิดของแพลงก์ตอนทั้งหมดที่พบในแหล่งเลี้ยงหอยบริเวณปากน้ำกะตะ

Taxon	เดือน		
	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม
Division Chromophyta	<i>Gyrosigma</i> sp.	✓	✓
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	✓	✓
	<i>Surirella</i> sp.	✓	✓
	<i>Coscinodiscus crenulatus</i>	✓	
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	✓	✓
	<i>Odontella sinensis</i>		✓
Division Chlorophyta	<i>Ulothrix zonata</i>		✓
Phylum Arthropoda	<i>Harpacticoid copepod</i>	✓	✓
	<i>Lecane</i> sp.	✓	
	<i>Calanoid copepod</i>	✓	
	Copepod nauplii	✓	✓
	Nauplius shrimps	✓	

ตารางที่ 4 ปริมาณ ค่าดัชนีความหลากหลาย และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอน

ดัชนี	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	ผลรวมเฉลี่ย
ปริมาณแพลงก์ตอน (เซลล์ต่อลิตร)	269,630	168,530	126,400	188,187
ดัชนีความหลากหลาย	0.450	0.476	0.532	0.486
ดัชนีความสม่ำเสมอ	0.784	0.779	0.765	0.776

จากการศึกษาค่าดัชนีความหลากหลายของแพลงก์ตอน พบว่าในช่วงเดือนสิงหาคมจะพบความหลากหลายของแพลงก์ตอนมากกว่าเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ซึ่งทั้ง 3 เดือนจะอยู่ในช่วงต้นฤดูฝน จึงทำให้พบความหลากหลายของแพลงก์ตอนน้อย ค่าดัชนีความหลากหลายจะอยู่ระหว่าง 0.40-0.60 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Plongon *et al.* (2016) ได้ศึกษาการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งบริเวณอ่าวบ้านดอน

จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าดัชนีความหลากหลายของแมลงก่ต่อนในช่วงฤดูฝนมีค่าน้อยกว่าในช่วงฤดูร้อน และการศึกษาค่าดัชนีความสม่ำเสมอของแมลงก่ต่อน พบว่าทั้ง 3 เดือน ค่าดัชนีความสม่ำเสมอไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.776 (ตารางที่ 4)

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับแมลงก่ต่อนทั้งหมดที่พบในพื้นที่แหล่งเลี้ยงหอยบริเวณปากน้ำกะตะ พบว่า ปริมาณแมลงก่ต่อนทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าอุณหภูมิ น้ำ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กล่าวคือถ้าอุณหภูมิ น้ำ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำ มีค่าสูง จะพบปริมาณแมลงก่ต่อนต่ำ และเมื่อแยกประเภทของแมลงก่ต่อน พบว่าแมลงก่ต่อนพืชมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าอุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 สอดคล้องกับการศึกษาของ Paibulkichakul and Paibulkichakul (2019) อุณหภูมิและพีเอชผกผันกับความหนาแน่นของแมลงก่ต่อนพืชบริเวณประมงพื้นบ้านตากวน-อ่าวประตู่ และนอกจากนี้พบว่าแมลงก่ต่อนพืช *Oscillatoria limosa* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (Rujit *et al.*, 2014) และค่าความเค็มของน้ำที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สอดคล้องกับการศึกษาของ Plongon (2016) แมลงก่ต่อนพืชทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับความเค็มของน้ำบริเวณทะเลสาบสงขลา ชายฝั่งทะเล อ่าวบ้านดอน ส่วนปริมาณแมลงก่ต่อนสัตว์ไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด

และเมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์น้ำบางประการ จะพบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความความเป็นกรด-ด่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าความเค็มของน้ำ ความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ และความเป็นกรด-ด่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กล่าวคือ ถ้าค่าความเค็มของน้ำสูง ค่าการนำไฟฟ้าและความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะสูงตาม ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของแมลงก่ต่อนเช่นกัน และยังพบว่าค่าอุณหภูมิของน้ำยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ ค่าความโปร่งแสงของน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าบีโอดีในน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความโปร่งแสงของน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำสูง ค่าความโปร่งแสงมีค่าสูง และปริมาณฟอสเฟตในน้ำต่ำ ค่าบีโอดีของน้ำจะต่ำเช่นกัน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับปริมาณแมลงก่ต่อน

คุณภาพน้ำ	แมลงก่ต่อนพืช		แมลงก่ต่อนสัตว์		แมลงก่ต่อนทั้งหมด	
	Pearson Correlation	Sig (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig (2-tailed)
อุณหภูมิ น้ำ (°C)	- 0.776**	0.001	0.420	0.119	- 0.602*	0.017
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	- 0.765**	0.001	- 0.066	0.814	- 0.760**	0.001
ค่าความเค็ม (ppt)	- 0.557*	0.031	0.119	0.672	- 0.495	0.061
อุณหภูมิอากาศ (°C)	0.189	0.501	0.013	0.962	0.186	0.506
ค่าความโปร่งแสง (cm)	- 0.353	0.197	0.480	0.070	- 0.173	0.537
ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm)	- 0.329	0.231	- 0.073	0.796	- 0.342	0.212
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	- 0.203	0.468	0.136	0.630	- 0.148	0.598
ค่าบีโอดี (mg/l)	- 0.089	0.752	- 0.217	0.437	- 0.166	0.567
ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (mg/l)	- 0.073	0.797	- 0.388	0.153	- 0.204	0.465

*ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ความสัมพันธ์มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

4. สรุป

จากการศึกษาคุณภาพน้ำและความหลากหลายของแมลงก่ต่อนในแหล่งเลี้ยงหอยบริเวณปากน้ำกะตะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่งทะเลประเภทที่ 3 และปริมาณ

แพลงก์ตอนมีค่าสูงสุดในเดือนมิถุนายนคิดเป็นร้อยละ 48 แพลงก์ตอนพืชสกุลเด่นที่พบ คือ *Gyrosigma* sp. รองลงมาคือไดอะตอมสกุล *Coscinodiscus* และพบแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มเด่น คือ กลุ่ม Copepod nauplii ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนมีค่ารวมทั้งหมดเท่ากับ 1.412 และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอน เท่ากับ 2.328 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอนทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าอุณหภูมิ น้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และแพลงก์ตอนพืชมีความสัมพันธ์ไปในเชิงลบกับค่าความเค็มของน้ำ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และแพลงก์ตอนพืชไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ ค่าความโปร่งแสง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าบีโอดี และปริมาณออร์โธฟอสเฟต และปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด แต่ก็ควรเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับสถานการณ์การเพาะเลี้ยงหอยต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- APHA, AWWA and WEF. 2017. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 23rd ed. <http://dl.mozh.org/upload/StandardMethods23RD.pdf>. Accessed 10 May 2019.
- Charoenvattanaporn, J. and S. Satapoomin. 2008. **Monitoring of Species Composition and Abundance of Coastal Marine Phytoplankton around Phuket Island**. In Proceedings of Marine Science conference (pp. 35-44). (In Thai)
- Cultural and Natural Environment Management Bureau. 2018. **Pakkadae**. <https://culturalenvi.go.th/site/detail/4790>. Accessed 21 Dec.2022. (in Thai)
- Fishery Statistics Analysis and Research Group. 2018. **Statistics of marine shellfish culture survey 2017**. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, 35 p. (in Thai)
- Khowhit, S., Chunkao, K., Inkapatanakul, W., Phewnil, O., Boutson, A. and E. Budda. 2015. **Species Diversity of Phytoplankton and Relationship with Water Quality at Coastal area of Laem Phak Bia: The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province**. KMUTT R&D Journal. 38(2): 167-179. (in Thai)
- Paibulkichakul, B. and Ch. Paibulkichakul. 2019. **Relationship between Water Quality and Plankton in Small - scale Fishermen Baan Ta Kuan - Ao Pra Du: Case Study of Coastal Marine Ecosystem along Map Ta Phut Industrial Estate Rayong Province**. Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi. (in Thai)
- Paibulkichakul, B., Naksakul, T., Chimphe, S. and Ch. Paibulkichakul. 2018. **Diversity of Zooplankton in Phang Rat Estuaries, Rayong Province**. KHON KAEN AGR. J. 46 SUPPL. 1: 1041-1046. (in Thai)
- Plongon, B. 2016. **Phytoplankton Distribution and Its Relationships to the Physicochemical Environment in the Coastal Aquaculture Area, Bandon Bay, Surat Thani Province**. Master's thesis. Marine Science, Department of Marine Science, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Plongon, B., Salaenoi, J., Kaewsuralikhit, Ch., Jitchum, P., Yoshikawa, T., Okamoto, Y. and, S. Ishikawa. 2016. **Phytoplankton Distribution and Water Qualities in Coastal Aquaculture Area at Bandon Bay, SuratThani Province**. Thai Science and Technology Journal. 24(4): 587-598. (in Thai)

- Pollution Control Department. 2021. **Water Quality Standard for Coastal**. https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2021/10/pcdnew-2021-10-28_03-16-54_356139.pdf. Accessed 20 Apr. 2022. (In Thai)
- Rujit, B., Pongswat, S., Tonggumnead, U. and S. Suphan. 2014. **Biodiversity of Phytoplankton and Their Application to Monitoring Water Quality in Lotus Museum Pond**. Rajamangala University of Technology Thanyaburi. Burapha Sci. J. (19)1: 47-60. (in Thai)
- Tidkongrach, S. 2017. **Monitoring of Water Quality and Distribution of Vibrio spp. In Bandon Bay, Kanjanadit District, Suratthani Province**. Master's thesis. Environmental Management Prince of Songkla University, Songkla. (in Thai)

(Received: 24/Apr/2022, Revised: 17/Dec/2022, Accepted: 19/Dec/2022)

ทุเรียน : ราชาแห่งผลไม้กับคุณประโยชน์ด้านสุขภาพ

Durian : King of Fruit with Health Benefits

รวินิภา ศรีมูล

Rawinipa Srimoon

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

Department of Applied Science and Biotechnology, Faculty of Agro-Industrial Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

*E-mail: rawinipa_sr@rmutto.ac.th โทร. 081-7155329

บทคัดย่อ

ทุเรียนได้ชื่อว่าเป็นราชาแห่งผลไม้เขตร้อน เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าการส่งออกลำดับต้น ๆ ของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออก นอกจากจะมีรสชาติอร่อยแล้ว ยังมีคุณประโยชน์ด้านสุขภาพมากมาย อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามินและแร่ธาตุ รวมทั้งกรดไขมันจำเป็นหลายชนิด ซึ่งมีส่วนช่วยในเรื่องสุขภาพ ลดอัตราการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ แต่การศึกษาส่วนใหญ่จะทำได้ในหลอดทดลองมากกว่าในสัตว์ทดลองหรือในมนุษย์ และแม้ว่าทุเรียนจะมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ แต่เนื่องจากเป็นผลไม้ให้พลังงานและมีคาร์โบไฮเดรตสูง จึงควรบริโภคแต่พอที่จะทำให้ประโยชน์มากกว่าโทษ จากการสำรวจความชื่นชอบของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคนิยมรับประทานทุเรียนที่สุกก่ำลิ้งดีแบบกรอบนอกนุ่ม (ร้อยละ 49.23) อย่างไรก็ตาม รายงานวิจัยพบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อผลทุเรียนมีระดับความสุกเพิ่มขึ้น ทุเรียนในระยะผลสุกแบบกรอบนอกนุ่มใน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ต่ำกว่าทุเรียนสุกนุ่ม การรับประทานทุเรียนให้ได้คุณประโยชน์จากสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ควรเลือกทุเรียนที่สุกก่ำลิ้งดี เนื้อนุ่ม มากกว่าแบบกรอบนอกนุ่มใน

คำสำคัญ : ทุเรียน คุณค่าทางโภชนาการ สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Durian (*Durio zibethinus* Murray), which known as king of tropical fruit, is one of an important economic crop of Thailand especially in the Eastern region. Not only delicious taste, but also it is connected with its nutritional and health benefits. Durian is composed of antioxidants, vitamins, minerals and essential fatty acids. These bioactive ingredients are associated with the decreasing in many chronic diseases. Nonetheless, most of those studies were conducted in vitro. However, durian contains high energy and carbohydrates, the appropriated consumption should be considered. According to the consumer survey, ripe durian with crispy on the outside and soft on the inside texture had been preferable (49.23%). However, previous report was found that the content of antioxidants in durian increased during ripening. Total phenolics, flavonoids and anthocyanins in ripe durian with crispy on the outside and soft on the inside texture were lower than those of well-ripe durian with soft texture. For healthy purposes, it can be suggested that the consumption of well-ripe durian with soft texture is better than ripe durian with crispy on the outside and soft on the inside texture.

Keywords : Durian, Nutrition, antioxidant

1. บทนำ

ทุเรียนได้ชื่อว่าเป็นราชาแห่งผลไม้เขตร้อน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Durio zibethinus* Murray เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ จัดอยู่ในวงศ์ Bombacaceae สายพันธุ์ทุเรียนมีจำนวนมากมาย แต่มีสายพันธุ์ส่งเสริมที่สำคัญของประเทศไทยมีอยู่ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ หมอนทอง ชะนี ก้านยาว และกระดุม ทุเรียนจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจของจังหวัดจันทบุรี จากสถิติในปี พ.ศ. 2563 จังหวัดจันทบุรีเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกและผลผลิตทุเรียนมากที่สุดในประเทศไทย คือ มีพื้นที่ปลูกทุเรียน 195,126 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 24.66 ของพื้นที่ปลูกทุเรียนทั้งหมดของประเทศ ได้ผลผลิต 380,446 ตัน คิดเป็นร้อยละ 34.21 ของผลผลิตรวม ผลผลิตต่อไร่ 1,950 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศถึงร้อยละ 38.79 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งพื้นที่ปลูก ปริมาณผลผลิต ปริมาณการส่งออก และมูลค่าการส่งออก โดยเฉพาะทุเรียนพันธุ์หมอนทอง มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดและให้ผลผลิตมากที่สุด เนื่องจากราคาดี ผลผลิตเป็นที่ต้องการทั้งในและต่างประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่ง จีนฮ่องกง ไต้หวัน และเวียดนาม ในปี พ.ศ. 2564 มีการส่งออกทุเรียนสดและทุเรียนแช่แข็งประมาณ 761,659 ตัน (Office of agricultural economics, 2021)

2. คุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของทุเรียน

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่ให้พลังงานสูงประมาณ 150 กิโลแคลอรี ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด มีคาร์โบไฮเดรตและไขมันประมาณ 27 และ 5.3 กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ มีโพแทสเซียมในปริมาณสูง ประมาณ 201.2 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด มีกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะ n-3 fatty acid และมีเส้นใยอาหารสูงมากประมาณ 3.82 กรัมต่อ 100 กรัม การที่ทุเรียนมีใยอาหารมากนี้ทำให้การย่อยและการดูดซึมอาหารช้าลง มีส่วนช่วยให้ดัชนีการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด (glycemic index) มีค่าต่ำ จึงช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ (Robert et al., 2008)

นอกจากทุเรียนจะมีรสชาติอร่อยแล้ว ยังมีปริมาณพฤษเคมีหลายกลุ่ม เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ฟลาโวนอล กรดฟีนอลิก แทนนิน แอนโทไซยานิน วิตามินซี วิตามินอี เบตาแคโรทีน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในระดับสูง มีสรรพคุณช่วยลดระดับไขมันในเลือด ลดคอเลสเตอรอลและปริมาณไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein, LDL) (Chansiripornchai et al., 2008) จากการศึกษาของ Gorinstein et al. (2011) ให้สารสกัดจากทุเรียนหมอนทองแก่หนูทดลองผสมกับอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูง พบว่า หนูมีระดับไตรกลีเซอไรด์ และ LDL ต่ำกว่าหนูกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับสารสกัดจากทุเรียนหมอนทองและยังมี HDL สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากทุเรียนมีส่วนช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอลและไขมันในเลือดได้ นอกจากนี้ สารสกัดจากทุเรียนยังช่วยให้การแข็งตัวของเลือดดีขึ้น (Leontowicz et al., 2008; Rai et al., 2010)

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระในทุเรียนสายพันธุ์ต่าง ๆ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ หมอนทอง ชะนี กระดุม และกบตาข่า (ตารางที่ 1) พบว่า ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร และแร่ธาตุของทุเรียนแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ทุเรียนหมอนทองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าทุเรียนอีกสามสายพันธุ์ และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว (monounsaturated fatty acid; MUFA) มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid; SFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid; PUFA) ตามลำดับ (Charoenkiatkul et al., 2016) นอกจากนี้ ทุเรียนหมอนทองยังมีสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ ฟลาโวนอล และแอนโทไซยานิน ในปริมาณสูง โดยพบเคอร์ซีตินและแคมเฟอรอลเป็นกลุ่มเด่น ซึ่งสารทั้งสองจัดเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ชนิดฟลาโวนอล และเมื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS, DPPH, CUPRAC และ FRAP ในปริมาณสูง (Gorinstein et al., 2010; Toledo et al., 2008)

อย่างไรก็ตามการศึกษาสรรพคุณต่าง ๆ ของทุเรียนยังคงจำกัดอยู่ในห้องปฏิบัติการและสัตว์ทดลองเท่านั้น การศึกษาในมนุษย์ยังคงมีข้อมูลน้อยมาก และเนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ให้พลังงานและมีคาร์โบไฮเดรตสูง จึงต้องระวังในการบริโภคแต่พอดี ไม่ให้มีผลเสียต่อสุขภาพโดยเฉพาะผู้ป่วยโรคเบาหวานและไขมันในเลือดสูง

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการที่พบในทุเรียนสายพันธุ์ต่าง ๆ 4 สายพันธุ์

คุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง	หมอนทอง	ชะนี	กระดุม	กบตาขำ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	437±9	453±14	444±2	452±5
โปรตีน (กรัม)	7.6±0.7	9.7±1.7	8.4±0.7	8.9±0.4
ไขมัน (กรัม)	10.1±1.6	14±2.5	11.2±0.4	13.7±1.0
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	70.7±1.2	62.9±1.6	69.9±0.9	65.9±1.1
ใยอาหาร (กรัม)	8.0±0.8	9.1±1.9	7.6±0.8	7.5±0.6
น้ำตาล (กรัม)	48.3±11.0	51.7±3.3	47.9±2.9	56.4±1.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	14±2	17±3	9±1	10±2
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	84±10	103±8	88±10	117±5
โซเดียม (มิลลิกรัม)	51±10	37±4	47±12	67±28
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	81±11	73±11	56±1	71±4
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.75±0.10	1.42±0.32	0.80±0.04	1.11±0.15
ทองแดง (มิลลิกรัม)	0.41±0.06	0.83±0.19	0.56±0.12	0.52±0.14
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.68±0.04	1.41±0.40	0.88±0.06	0.99±0.18
Dodecanoic (Lauric) (กรัม)	0.01±0.00	0.05±0.01	0.04±0.01	0.03±0.02
Tetradecanoic (Myristic) (กรัม)	0.1±0.03	0.2±0.02	0.1±0.01	0.1±0.07
Hexadecanoic (Palmitic) (กรัม)	4.8±0.8	5.3± 0.9	3.9±0.2	4.7±0.2
cis-9-Hexadecenoic (Palmitoleic) (กรัม)	0.4±0.03	0.6±0.2	0.3±0.01	0.5±0.05
Octadecanoic (Stearic) (กรัม)	0.2±0.04	0.2±0.03	0.2±0.02	0.3±0.006
cis-9-Octadecenoic (Oleic) (กรัม)	3.5±0.5	6.1±1.4	5.7±0.2	7.3±0.6
cis-9,12-Octadecadienoic (Linoleic) (กรัม)	0.6±0.1	1.2±0.2	0.5±0.2	0.3±0.02
cis-6,9,12-Octadecatrienoic (γ-Linolenic) (กรัม)	0.6±0.1	1.2±0.2	0.5±0.2	0.3±0.02
Saturated FA (SFA) (กรัม)	5.1±0.9	5.7±1.0	4.2±0.2	5.2±0.4
Monounsaturated (MUFA) (กรัม)	4.0±0.6	6.7±1.6	6.1±0.2	7.8±0.6
Polyunsaturated (PUFA) (กรัม)	1.1±0.2	1.5±0.2	0.9±0.2	0.8±0.9
ลูทีน (ไมโครกรัม)	136±48	129±33	130±66	225±36
ซีแซนทีน (ไมโครกรัม)	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
เบตาคริปโตแซนทีน	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
ไลโคปีน (ไมโครกรัม)	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
แอลฟาแคโรทีน (ไมโครกรัม)	13±5	279±190	126±17	821±165
เบตาแคโรทีน (ไมโครกรัม)	117±30	421±169	600±144	1202±224
แคโรทีนอยด์รวม (ไมโครกรัม)	265±83	829±391	855±226	2248±253
ฟีนอลิกรวม (ไมโครกรัม)	289±45	67±5	269±5	269±19
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวัดด้วยวิธี DPPH (ไมโครโมลโทรลอคซ์เทียบเท่าต่อกรัม)	8±1	4±1	6±0	6±0
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวัดด้วยวิธี FRAP (ไมโครโมลโทรลอคซ์เทียบเท่าต่อกรัม)	16±2	11±1	16±1	16±1
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวัดด้วยวิธี ORAC (ไมโครโมลโทรลอคซ์เทียบเท่าต่อกรัม)	62±12	72±16	67±3	73±12

(ที่มา: Charoenkiatkul et al., 2016)

3. ปริมาณสารสำคัญในทุเรียนที่มีระยะความสุกแตกต่างกัน

ทุเรียนแต่ละสายพันธุ์มีระยะสุกแก่ของผลแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น ทุเรียนหมอนทองและก้านยาว มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120-135 วัน ชะนีและพวงมณี มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 100-110 วัน เป็นต้น โดยปกติทุเรียนที่สุกกำลังดีย่อมเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค แต่ก็มีผู้บริโภคบางส่วนนิยมรับประทานทุเรียนที่มีความสุกแก่น้อยหรือมากกว่าปกติ (ภาพที่ 1) เช่น ทุเรียนแ่แบบกรอบนอกนุ่มในมีความสุกประมาณร้อยละ 80 มีกลิ่นไม่ฉุน เนื้อจะแข็งเล็กน้อย บางส่วนก็นิยมรับประทานทุเรียนที่สุกจนเกือบนิ่ม เนื่องจากมีรสชาติหวานและเนื้อนิ่มรับประทานง่าย หรือนำไปทำเป็นน้ำกะทิทุเรียน เป็นต้น

จากการสำรวจความชื่นชอบการรับประทานทุเรียนในระดับความสุกที่แตกต่างกัน ได้แก่ ทุเรียนดิบเนื้อสีขาว ระดับความสุกต่ำกว่าร้อยละ 80 ทุเรียนดิบเนื้อสีเหลืองอ่อนแข็งพอประมาณ ระดับความสุกประมาณร้อยละ 80-90 รสชาติไม่หวานมาก ทุเรียนสุกกำลังดีแบบกรอบนอกนุ่มใน ทุเรียนสุกกำลังดีแบบนุ่มนอกนุ่มใน ทุเรียนสุกนิ่มเกือบและ รสชาติหวานมาก และทุเรียนสุกนิ่มเนื้อละเอียด พบว่า ผู้บริโภคนิยมรับประทานทุเรียนที่สุกกำลังดีแบบกรอบนอกนุ่มใน ถึงร้อยละ 49.23 เนื่องจากเนื้อไม่ละเอียด รสชาติไม่หวานมาก และกลิ่นไม่แรง รองลงมา คือ สุกกำลังดีแบบนุ่มนอกนุ่มใน ร้อยละ 36.92 (ภาพที่ 2) (Srimoon, 2021) โดยจากผลสำรวจ ผู้บริโภคไม่นิยมรับประทานทุเรียนสุกเกินไปจนถึงและ เนื่องจากเนื้อจะละเอียดมากและมีกลิ่นฉุน



(ก) ทุเรียนอ่อน (ไม่นำมาบริโภค)



(ข) ทุเรียนดิบ



(ค) ทุเรียนแบบกรอบนอกนุ่มใน (สุกประมาณร้อยละ 80)



(ง) ทุเรียนสุกกำลังดี

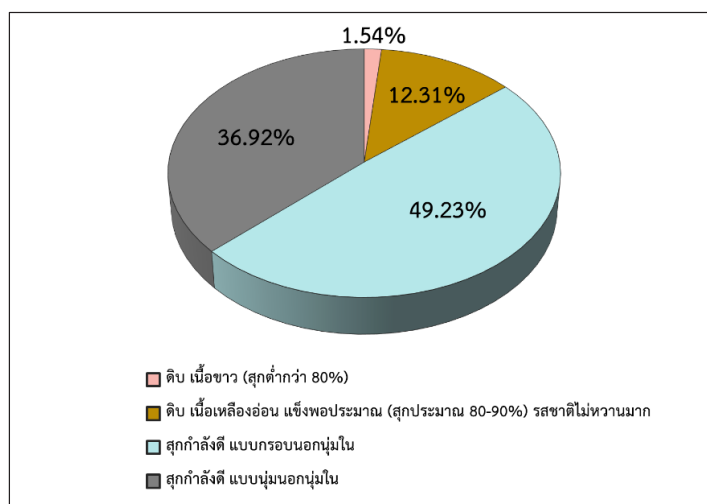


(จ) ทุเรียนสุกเกือบและ



(ฉ) ทุเรียนสุกและ

ภาพที่ 1 ทุเรียนที่ระยะความสุกต่าง ๆ



ภาพที่ 2 ผลการสำรวจความชื่นชอบการรับประทานทุเรียนในระดับความสุกที่แตกต่างกัน
(ที่มา: Srimoon, 2021)

อย่างไรก็ตาม ความชื่นชอบของผู้บริโภคกลับสวนทางกับผลการศึกษาเกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระในทุเรียนที่มีระยะสุกต่าง ๆ เมื่อหลายงานวิจัยพบว่า ทุเรียนในระยะผลสุกแบบกรอบนอกนุ่มใน มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าทุเรียนสุกนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์ กรดแอสคอร์บิก และแอนโทไซยานิน ส่วนทุเรียนดิบห่ามจะมีแทนนินมากกว่าระยะอื่น (Arancibia-Avila et al. 2008; Leontowicz et al., 2011)

Haruenkit et al. (2010) ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม แทนนิน ฟลาโวนอยด์ ฟลาวานอล วิตามินซี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในทุเรียนหมอนทองที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ ทุเรียนดิบ (ระดับความสุกร้อยละ 80) ซึ่งตัดก่อนสุกประมาณ 5 วัน, ทุเรียนสุกเต็มที่ ตัดที่ระยะเวลา 120-125 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ทุเรียนหมอนทองสุกเต็มที่ และแกะเนื้อหลังจากตัด 1 วัน, ทุเรียนสุกเต็มที่ ตัดที่ระยะเวลา 120-125 วัน เหมือนระดับที่ 2 แต่แกะเนื้อหลังจากตัด 3-5 วัน และระดับสุดท้าย คือทุเรียนสุกนึ่งเก็บและตัดหลังจากระยะสุกเต็มที่ 3-5 วัน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อผลทุเรียนมีระดับความสุกเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีกรดไขมันและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อตรวจสอบด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ วิธี DPPH และ ATBS สูงกว่าระยะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม แทนนิน ฟลาโวนอยด์ ฟลาวานอล วิตามินซี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในทุเรียนหมอนทองที่ระดับความสุกต่าง ๆ

ระยะสุกของผล	ฟีนอลิกรวม (mg GAE/g)	แทนนินรวม (mg CE/g)	ฟลาโวนอยด์รวม (mg CE/g)	ฟลาวานอล (μg CE/g)	วิตามินซี (mg ASC/g)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (μmol Trolox/g)	
						DPPH	ATBS
ทุเรียนดิบ							
สุกร้อยละ 80	2.0±0.2	0.2±0.02	0.5±0.03	34.9±2.6	4.3±0.3	4.6±0.3	12.4±1.6
ผลสุก							
แกะหลังสุก 1 วัน	2.8±0.2	0.6±0.05	1.5±0.1	62.0±5.6	9.4±0.7	8.0±0.6	20.6±1.8
ผลสุก							
แกะหลังสุก 3-5 วัน	2.6±0.3	0.5±0.04	1.5±0.1	67.1±5.2	8.0±0.6	6.1±0.5	31.3±2.6
ผลสุกนึ่งเก็บและ	2.9±0.3	0.4±0.03	1.6±0.1	73.9±6.4	11.3±1.1	10.0±0.8	44.1±3.3

(ที่มา: Haruenkit et al., 2010)

โดยปกติผลไม้ระยะผลสุก จะมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มต่าง ๆ ในปริมาณที่สูงกว่าระยะสุกอื่น ๆ ระยะที่อยู่ระหว่างการพัฒนาให้เป็นผลจะมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำแต่จะมีสารกลุ่มแทนนินสูงเพื่อป้องกันเมล็ดถูกทำลาย แต่เมื่อผลเริ่มสุกปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มต่าง ๆ จะมีปริมาณสูงขึ้น และแทนนินจะต่ำลง ดังนั้น การรับประทานทุเรียนให้ได้คุณประโยชน์จากสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ควรเลือกทุเรียนที่สุกกำลังดี เนื้อนิ่ม มากกว่าแบบกรอบนอกนุ่มใน

4. สรุปผล

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อยและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย การศึกษาคุณค่าของทุเรียนด้านสุขภาพ ไม่ว่าจะเป็นฤทธิ์การลดระดับน้ำตาล ระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือด รวมทั้งฤทธิ์ด้านอื่น ๆ ยังคงมีการศึกษาไม่มากนัก ส่วนใหญ่จำกัดอยู่ในการศึกษาในหลอดทดลอง ส่วนการทดลองในสัตว์และในมนุษย์ยังคงมีน้อยมาก ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่แก่นักวิจัยสามารถนำไปศึกษาได้ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- Arancibia-Avila, P., F. Toledo, P. Yong-Seo, J. Soon-Teck, K. Seong-Gook, H. Buk-Gu, L. Sang-Hyun, M. Sajewicz, T. Kowalska and S. Gorinstein. 2008. **Antioxidant properties of durian fruit as influenced by ripening.** LWT - Food Science and Technology. 41 : 2118 - 2125.
- Chansiripornchai, N., P. Chansiripornchai and S. Pongsamart. 2008. **A preliminary study of polysaccharide gel extracted from the fruit hulls of durian (*Durio zibethinus*) on immune responses and cholesterol reduction in chicken.** Acta Horticulturae. 786 : 57 - 60.
- Charoenkiatkul, S., P. Thiyajai and K. Judprasong. 2016. **Nutrients and bioactive compounds in popular and indigenous durian (*Durio zibethinus* murr.).** Food Chemistry. 193 : 181 - 186.
- Gorinstein, S., R. Haruenkit, S. Poovarodom, S. Vearasilp, P. Ruamsuke, J. Namiesnik, M. Leontowicz, H. Leontowicz, M. Suhaj and G.P. Sheng. 2010. **Some analytical assays for the determination of bioactivity of exotic fruits.** Phytochemical Analysis. 21 : 355 - 362.
- Gorinstein S., S. Poovarodom, H. Kruszezwska, M. Leontowicz, N. Jacek, V. Suchada, R. Haruenkit, P. Ruamsuke, K. Elena and T. Zev. 2011. **Antioxidant properties and bioactive constituents of some rare exotic Thai fruits and comparison with conventional fruits: in vitro and in vivo studies.** Food Research International. 44 (7) : 2222 - 2232.
- Haruenkit, R., S. Poovarodom, S. Vearasilpm, J. Namiesnik, M. Sliwka-Kaszynska, Y.S. Park, B.G. Heo, J.Y. Cho, H.G. Jang and S. Gorinstein. 2010. **Comparison of bioactive compounds, antioxidant and antiproliferative activities of Mon Thong durian during ripening.** Food Chemistry. 118 : 540 - 547.
- Leontowicz H., M. Leontowicz, I. Jesion, W. Bielecki, S. Poovarodom, S. Vearasilp, G. González-Aguilar, M. Robles-Sánchez, S. Trakhtenberg, S. Gorinstein. 2011. **Positive effects of durian fruit at different stages of ripening on the hearts and livers of rats fed diets high in cholesterol.** European Journal of Integrative Medicine. 3 : e169 - e181.

- Leontowicz, H., M. Leontowicz, R. Haruenkit, S. Poovarodom, Z. Jastrzebski, J. Drzewiecki, A.L. Ayala, I. Jesion, S. Trakhtenberg and S. Gorinstein. 2008. **Durian (*Durio zibethinus* Murr.) cultivars as nutritional supplementation to rats diets**. Food and Chemical Toxicology. 46 : 581 - 589.
- Office of Agricultural Economics. 2021. **Agricultural Economic and Agricultural Production Information of Durian**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/durian63.pdf>. Accessed 31 Aug. 2021. (in Thai)
- Rai, P.K, Mehta, S. and Watal, G. 2010. **Hypolipidaemic and hepatoprotective effects of *Psidium guajava* raw fruit peel in experimental diabetes**. Indian J. Med Res. 131: 820-824.
- Robert, D., Ismail, A.A., Winn, T., and Wolever, T.M.S. 2008. **Glycemic index of common Malaysian fruits**. Asia Pac. J. Clin. Nutr. 17: 35-39.
- Srimoon, R. 2021. **Durian at Different Stages of Ripening Preferable survey**. Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus, Chanthaburi. (in Thai)
- Toledo, F., Arancibia-Avila, P., Park, Y.S., Jung, S.T., Kang, S.G., Heo, B.G., Drzewiecki, J., Zachwieja, Z., Zagrodzki, P., Pasko, P. and Gorinstein, S. 2008. **Screening of the antioxidant and nutritional properties, phenolic contents and proteins of five durian cultivars**. Int. J. Food Sci. Nutr. 59: 415-427.

(Received: 14/Sep/2021, Revised: 24/Dec/2022, Accepted: 25/Dec/2022)

สัดส่วนที่เหมาะสมของกัมอารบิกและมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณภาพเครื่องดื่มลูกหว้าผง ที่ผลิตด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

Optimum Ratios of Gum Arabic and Maltodextrin on the Quality of Powdered Jambolan Beverage by Spray Drying Method

สุนทรณ์ ฟักเฟื่อง

Fakfoun Sunthon

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและธุรกิจ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus

E-mail: sunthon_fa@mutto.ac.th; โทร. 0917451927

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนของกัมอารบิกต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มลูกหว้าผงด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยนำผลลูกหว้าสุกงอมชนิด *Syzygium cumini* (L.) ที่รวบรวมจากแหล่งปลูกในจังหวัดจันทบุรี มาแปรรูปเป็นน้ำลูกหว้าแล้วปรับให้มีความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 16 °Brix จากนั้นเติมกัมอารบิกและมอลโทเดกซ์ทริน ตามสัดส่วนที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 และ 40:60 (w/w) ก่อนนำทุกสัดส่วนไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิลมเข้า 150 องศาเซลเซียส พบว่า การกำหนดสัดส่วนของกัมอารบิกต่อมอลโทเดกซ์ทรินเท่ากับ 10:90 ส่งผลให้คุณภาพด้านสีของเครื่องดื่มลูกหว้าผงใกล้เคียงกับน้ำลูกหว้าสดมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดประโยชน์ทางสุขภาพสูงสุดต่อผู้บริโภค งานวิจัยนี้แนะนำให้ใช้สัดส่วนของกัมอารบิกต่อมอลโทเดกซ์ทรินเท่ากับ 30:70 เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกหว้าผงมีปริมาณวิตามินซีและแอนโทไซยานินมากที่สุดและมากกว่าสัดส่วนอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเท่ากับ 3.35 ± 0.02 และ 156.96 ± 0.08 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

คำสำคัญ : การทำแห้งแบบพ่นฝอย กัมอารบิก มอลโทเดกซ์ทริน ลูกหว้า

Abstract

This research aimed to optimize the ratio between gum arabic and maltodextrin in the production of jambolan beverage powder by spray drying method. The ripened of jambolan, *Syzygium cumini* were collected from planting area in Chanthaburi Province. They were processed into juice, adjusted to 16 °Brix, prior to the gum arabic and maltodextrin were added into the juice with 5 different ratios: 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 and 40:60 (w/w). All treatments were performed using spray dryer, using inlet air temperature of 150 °C. The results showed that the proportion of gum arabic to maltodextrin at 10:90, resulting in the color quality of the powdered jambolan beverage as close as possible to fresh jambolan juice. However, to making of health-friendly products, this study suggests the proportion of gum arabic to maltodextrin at 30:70; since it resulted to significantly higher contained of vitamin C and anthocyanin than other proportion, with the amount of 3.35 ± 0.02 and 156.96 ± 0.08 milligrams/100 milliliters, respectively.

Keywords : Spray dry method, Gum arabic, Maltodextrin, *Syzygium cumini*

1. บทนำ

“หว่า” ไม่ยืนต้นที่มีถิ่นกำเนิดในกลุ่มประเทศเอเชียใต้ ได้แก่ บังกลาเทศ อินเดีย ศรีลังกา และเนปาล รวมถึงในบางประเทศของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และไทย เป็นต้น ชื่อสามัญคือ Jambolan Plum หรือ Java Plum มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Syzygium cumini* (L.) Skeels. ชื่อตามท้องถิ่นของไทยคือ หว่า หว่าป่า หว่าขาว หว่าขั้น หว่าขี้แพะ ชาวอินเดียจะเรียกลูกหว่าว่า “จามาน” หรือ “จา” เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae เช่นเดียวกับชมพู สามารถขึ้นได้ตั้งแต่ป่าดิบใกล้ทะเลขึ้นไปถึงเขาสูงไม่น้อยกว่า 800 เมตร ขึ้นได้ดีในที่ค่อนข้างชื้น ดินอุดมสมบูรณ์ ด้วยปุ๋ยธรรมชาติ (Free encyclopedia, 2017) พืชชนิดนี้มีกพบมากตามภูมิศาสตร์เนเขา ผลมีขนาดเล็กติดต่อกันคล้ายช่อคล้ายองุ่น เมื่อผลเริ่มสุกจะมีสีแดง แต่เมื่อผลสุกเต็มที่จะมีสีม่วงถึงดำซึ่งอุดมไปด้วยสาร “แอนโธไซยานิน” ซึ่งสารนี้มักพบในพืชผัก ผลไม้ที่มีสีม่วงเข้มหรือสีแดง สารดังกล่าวมีคุณสมบัติช่วยต้านอนุมูลอิสระ เสริมภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย ลดความเสี่ยงของเซลล์ มีฤทธิ์ช่วยยับยั้งเซลล์มะเร็งลำไส้ ลดน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน และยังมีส่วนประกอบของสาร “แทนนิน” ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร ช่วยรักษาอาการท้องเสีย และรักษาแผลในกระเพาะอาหารได้อีกด้วย (Samerwong, 2017) อย่างไรก็ตามลูกหว่าเป็นผลไม้ที่เน่าเสียง่าย เนื่องจากมีปริมาณน้ำสูง เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และยังมีลักษณะอวบน้ำ ซึ่งเมื่อได้รับแรงกระแทกจากการเก็บเกี่ยว ทำให้บอบช้ำได้ง่าย ดังนั้นการแปรรูปให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์จึงเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดการสูญเสียยืดอายุการเก็บรักษา ยกระดับราคาผลผลิตและเพิ่มพูนรายได้ให้แก่ประชาชนผู้ทำการผลิตและแปรรูป ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มตลอดห่วงโซ่การผลิต

ลูกหว่าเป็นผลไม้ที่มีเม็ดสีอยู่ในปริมาณมาก ขณะที่สุกอมมีกลิ่นหอมและรสชาติอมเปรี้ยว เมื่อผสมกับน้ำจะได้น้ำลูกหว่าที่มีสีแดงเข้ม และมีกรดผลไม้ค่อนข้างมาก ซึ่งเหมาะที่จะนำมาทำเครื่องดื่มได้ (Konghom, 2004) หรือนำมาหมักเป็นไวน์ได้ (Phuseerit *et al.*, 2019) ปัจจุบันสามารถพบเห็นเครื่องดื่มน้ำลูกหว่ามีวางขายในตลาดท้องถิ่นอย่างแพร่หลาย แต่จะพบเห็นได้เฉพาะในฤดูกาลที่ลูกหว่าให้ผลผลิตเท่านั้น การทำน้ำลูกหว่าให้อยู่ในรูปแบบเครื่องดื่มขบขันว่าเป็นทางเลือกของการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่น่าสนใจ เนื่องจากการผลิตเครื่องดื่มแบบผงเป็นกรรมวิธีการผลิตสมัยใหม่ที่สามารถแปรรูปจากของเหลวเป็นของแข็งที่ขนาดของอนุเล็กลง สามารถดึงเอกลักษณ์ของน้ำผลไม้แท้ได้เต็มที่ จึงทำให้ได้รสชาติน้ำผลไม้แท้ คงคุณค่าทางโภชนาการ ยืดอายุการเก็บรักษา ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบา และง่ายต่อการคืนรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มด้วยการชงในน้ำ กระบวนการทำน้ำผลไม้ให้เป็นผงในปัจจุบันนิยมใช้วิธีนำน้ำผลไม้มาแช่แข็ง แล้วนำมามาอบภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือที่เรียกว่าเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อให้ น้ำแข็งในน้ำผลไม้ระเหิดกลายเป็นไอ ส่วนที่เป็นของแข็งจะคงลักษณะเดิม ดังนั้นผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งจึงมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้กลับคืนรูปเดิมได้ง่าย ซึ่งเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม การผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาการทำแห้งสั้น สามารถกักเก็บและป้องกันการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ และเป็นกรรมวิธีที่สามารถเติมสารช่วยทำแห้งได้หลายชนิด โดยเฉพาะสารช่วยทำแห้งประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น มอลโทเดกซ์ทริน และ กัมอารบิก ทั้งนี้ Pornchaloempong and Rattanapanone (2021a) ระบุว่า มอลโทเดกซ์ทรินช่วยเพิ่มเนื้อในการทำแห้งอาหารแห้งประเภทอาหารผง หรือ เครื่องดื่มผงด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย รวมถึงห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส ส่วนกัมอารบิกจะใช้เป็น clouding agent ช่วยทำให้เกิดความข้นคล้ายกับว่ามีเนื้อผลไม้มากขึ้น จึงใช้ได้ดีทั้งในรูปแบบที่เป็นเครื่องดื่มเป็นเหลวและแบบผง (Pornchaloempong and Rattanapanone, 2021b) การใช้สารช่วยทำแห้งทั้งสองดังกล่าว จำเป็นต้องทราบสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาสัดส่วนของกัมอารบิกต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่เหมาะสมในการผลิตผงลูกหว่าโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

รวบรวมลูกหว้า (*Syzygium cumini*) ที่สุกเต็มที่จากแหล่งปลูกในจังหวัดจันทบุรีในช่วงเดือนมิถุนายน คัดเลือกลูกหว้าที่มีสีม่วงเข้มจนถึงดำ ลักษณะผลสมบูรณ์ไม่เน่าเสีย นำมาล้างทำความสะอาด 1-2 ครั้ง พักให้สะเด็ดน้ำแล้วคว้านเมล็ดกลางผลออก แล้วนำไปปั่นผสมกับน้ำสะอาดโดยใช้สัดส่วนลูกหว้า 800 กรัม ต่อน้ำสะอาด 1,200 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นนำเนื้อลูกหว้าสุกที่ได้มากรองด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้น เพื่อแยกเอากากออก และแบ่งน้ำลูกหว้าส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์คุณภาพของน้ำลูกหว้าก่อนทำแห้ง และน้ำลูกหว้าส่วนที่เหลือนำไปศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณกัมอาร์บิกและมอลโทเดกซ์ทริน

2.2 การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของกัมอาร์บิกและมอลโทเดกซ์ทรินในการทำเครื่องดื่มลูกหว้าผง ด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

วางแผนการศึกษาโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) ที่มี 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ศึกษา คือ สัดส่วนของกัมอาร์บิกต่อมอลโทเดกซ์ทริน (w/w) ที่แตกต่างกัน 5 ระดับได้แก่ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 และ 40:60

การศึกษาเริ่มต้นด้วยการนำน้ำลูกหว้าจากข้อ 2.1 มาวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง Digital Hand Refractometer และปรับความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 16 °Brix แล้วนำมาเติมมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอาร์บิกตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ในแผนการศึกษา จากนั้นนำน้ำลูกหว้าของแต่ละชุดการทดลองไปปั่นด้วยเครื่องผสมไฮโมจิโนเซอร์ (Dragon Lab, D-160,) ใช้ความเร็วการปั่น 19,000 RPM นาน 5 นาที แล้วนำไปเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer, Buchi B-290, Germany) โดยกำหนดสภาวะดังนี้ อุณหภูมิลมเข้า 150 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 10 เปอร์เซ็นต์ (feed flow 2 มิลลิลิตรต่อนาที) (ดัดแปลงวิธีจาก Swaminathan *et al.*, 2015) หลังจากเสร็จสิ้นการอบแห้ง นำลูกหว้าผงที่ได้บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนต เก็บในตู้กันความชื้นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

2.3 การตรวจวัดคุณภาพของเครื่องดื่มลูกหว้าผง

นำตัวอย่างเครื่องดื่มลูกหว้าผงของแต่ละชุดการทดลองที่ได้ในข้อ 2.2 มาทำการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

2.3.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ โดยวัดค่าสีในระบบ CIE โดยใช้เครื่อง Colorimeter (Nippon, ZE-2000, Japan) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.3.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ดังนี้ วัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) โดยใช้ pH-meter (Consort, C3010, USA) วัดปริมาณความชื้นด้วยเครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด (Sartorius, MA 45, Germany) วัดปริมาณน้ำอิสระ (aw) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (NOVASINA, LabMaster.aw, Switzerland) และวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids; TSS) ด้วยเครื่อง Digital hand-held refractometer (ATAGO, Master-3M, Japan)

2.3.3 วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี โดยวิธีไตเตรทตามวิธีการของ AOAC (2000) และวิเคราะห์ปริมาณแอสโทไซยานิน โดยใช้วิธี pH-differential ที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Giusti and Wrolstad (2003)

2.3.4 คำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้จาก $\%Yield = \frac{\text{ผลผลิตที่ได้}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$

2.3.5 ตรวจสอบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ดังนี้ ตรวจสอบการปนเปื้อนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา โดยเทคนิค pour plate (AOAC, 1990)

2.4 การทดสอบความสามารถในการละลายได้ของเครื่องดื่มลูกหว้าผง

การทดสอบความสามารถในการละลายได้ของผงลูกหว้าที่อุณหภูมิห้องดัดแปลงวิธีจาก Sirilert *et al.* (2017) โดยชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารที่ความเร็วรอบ 100 รอบ

ต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เทส่วนใสใส่ถ้วยอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักแล้ว นำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง นำออกมาทำเย็นในโถดูดความชื้น ทำการชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมหลังอบ นำมาคำนวณค่าร้อยละการละลาย ดังนี้

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = (\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)} / \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}) \times 100$$

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลของการทดลอง ได้แก่ ค่าที่วัดได้จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ปริมาณผลผลิตที่ได้ และความสามารถในการละลาย มาหาความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำลูกหว้าสด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีภาพของน้ำลูกหว้าสดที่เตรียมก่อนนำไปทำให้เป็นผงแสดงดังตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำลูกหว้าสดที่ผ่านการเจือจางในสัดส่วน 1:1.5 ก่อนนำไปทำแห้งมีค่าความสว่างอยู่ในระดับ 32.5 และมีค่าสีแดงในระดับ 40.42 หมายความว่า น้ำลูกหว้าก่อนที่นำไปทำแห้งมีสีม่วงแดงค่อนข้างเข้ม และมีความเป็นกรดสูงเนื่องจากมีค่า pH อยู่ในระดับต่ำมากคือ 3.28

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำลูกหว้าสด

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้
<u>คุณภาพทางกายภาพ</u>	
1) ค่าสี L^*	32.35
a^*	40.42
b^*	6.45
2) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}\text{Brix}$)	10.8
<u>คุณภาพทางเคมี</u>	
1) ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)	3.28
2) ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	6.20
3) ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	69.36

หมายเหตุ : L^* คือ lightness (100 = light, 0 = dark)

a^* คือ + redness, - greenness

b^* คือ + yellowness, - blueness

3.2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของลูกหว้าผง

หลังจากนำน้ำลูกหว้าสด มาเติมสารกัมอาร์บิกและมอลโทเดกซ์ทรีน โดยมีสัดส่วนของกัมอาร์บิกต่อมอลโทเดกซ์ทรีน แตกต่างกัน 5 ระดับ แล้วนำไปเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อทำให้เป็นผง ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของลูกหว้าผง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเครื่องตีลูกหว้าผงที่ผลิตโดยใช้สัดส่วนของกัมอารบิกต่อมอลโทเดกซ์ทรินแตกต่างกัน 5 ระดับ

สัดส่วน (w/w)	ค่าสี			pH	TSS (°Brix)	a_w	ปริมาณความชื้น (%)
	L^*	a^*	b^*				
0:100	57.49±0.18 ^c	30.60±0.84 ^b	-0.45±0.06 ^e	3.39±0.02 ^e	58.50±0.22 ^a	0.17±0.00 ^b	3.80±0.39 ^b
10:90	57.42±0.52 ^d	31.16±0.25 ^a	-0.48±0.02 ^d	3.48±0.03 ^d	55.50±0.22 ^b	0.16±0.01 ^c	4.23±0.22 ^a
20:80	58.56±0.78 ^a	27.30±0.39 ^e	-1.70±0.06 ^c	3.56±0.02 ^c	53.33±0.21 ^c	0.16±0.00 ^c	4.18±0.22 ^{ab}
30:70	57.95±0.72 ^b	28.75±0.09 ^c	-1.83±0.03 ^b	3.65±0.02 ^b	50.50±0.22 ^d	0.15±0.00 ^d	2.19±0.44 ^d
40:60	58.54±0.40 ^{ab}	28.22±0.15 ^d	-1.84±0.03 ^a	3.70±0.01 ^a	48.50±0.22 ^e	0.19±0.00 ^a	3.32±0.37 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

L^* คือ lightness (100 = light, 0 = dark)

a^* คือ + redness, - greenness

b^* คือ + yellowness, - blueness

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำน้ำลูกหว้าสดให้เป็นผง ความเข้มข้นของสีผลิตภัณฑ์ลดลง โดยค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีแดงและค่าสีเหลืองลดลง คาดว่าเป็นผลมาจากที่มีการเติมมอลโทเดกซ์ทรินปริมาณมากในน้ำลูกหว้าก่อนอบแห้ง ทั้งนี้กัมอารบิกและมอลโตเดกซ์ตริกเป็นผงมีสีขาว จึงส่งผลให้น้ำลูกหว้ามีความสว่างเพิ่มขึ้น (Khunthawad and Sripui, 2013) สอดคล้องกับการกับทดลองของ Sarochwikasit and Tangduangdee (2011) ที่พบว่า การเติมมอลโทเดกซ์ทริน สูงขึ้น ทำให้สัปดาห์แรกของการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีความสว่างเพิ่มขึ้น ส่วนการที่ค่าสีแดงและสีน้ำเงินลดลงเมื่อเทียบกับน้ำลูกหว้าสด อาจเป็นเพราะสารช่วยทำให้แห้งทั้งสองมีบทบาทในการลดความเข้มข้นของสีแดงและสีน้ำเงินลง แต่เนื่องจากสีเป็นสมบัติหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่สำคัญ เพราะเป็นสิ่งแรกๆ ที่ผู้บริโภคสามารถสังเกตเห็นได้ก่อน (Wong and Lim, 2016) การศึกษาครั้งนี้พบว่า การเติมกัมอารบิกต่อมอลโตเดกซ์ตริกที่สัดส่วน 10:90 ทำให้น้ำลูกหว้าผงมีค่าความเป็นสีแดงและค่าสีน้ำเงินใกล้เคียงกับน้ำลูกหว้าสดมากที่สุด อาจเนื่องจากในสัดส่วนดังกล่าวมีปริมาณของมอลโทเดกซ์ทรินมากกว่ากัมอารบิกในปริมาณที่มากกว่า จึงทำให้ค่าความสีแดงและสีน้ำเงินยังคงอยู่ได้มากกว่า เพราะมอลโทเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติในการคงสภาพของวัตถุได้ดีมากกว่ากัมอารบิก สอดคล้องกับรายงานของ Pathomrungsiriyungkul *et al.* (2003) และ Intipunya and Thamee (2014) ที่พบว่า การเติมมอลโทเดกซ์ทรินในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสว่างเพิ่มขึ้นได้ ขณะเดียวกันการเพิ่มปริมาณกัมอารบิกมีผลทำให้น้ำลูกหว้าผงมีค่า pH เพิ่มขึ้น แต่ค่า TSS ลดลง แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดน้อยลง ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคมากกว่า นอกจากนี้การลดปริมาณของมอลโทเดกซ์ทริน มีผลทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้น แต่ค่า TSS ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Ekpong (2016) ที่พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินจะทำให้ค่าของสารสกัดมะขามมีค่าความเป็นกรดลดลง ค่า pH ที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะกัมอารบิกมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5-7 และมอลโทเดกซ์ทรินมีค่า pH เท่ากับ 6.5 เมื่อเติมสารทั้งสองนี้ในผลิตภัณฑ์จึงช่วยยกระดับค่า pH ในน้ำลูกหว้าผง แต่การเติมกัมอารบิกกลับมีผลทำให้ค่า TSS สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องตีลูกหว้ามีความข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำลูกหว้าสด โดยความข้นคาดว่าจะมาจากกัมอารบิก เนื่องจากกัมอารบิกนิยมใช้เป็น clouding agent ช่วยทำให้เกิดความข้นคล้ายกับว่ามีเนื้อผลไม้มากขึ้น (Pornchaloempong and Rattanapanone (2021b) นอกจากนี้พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน ทั้งนี้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด กล่าวคือ เมื่อลดปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินลง ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะลดลงด้วย เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความหวานให้กับผลิตภัณฑ์ (Pornchaloempong and Rattanapanone (2021a) ดังนั้นเมื่อลดปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินจึงทำให้ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ผลผลิตถั่วลิสงน้ำลูกหว้าแบบผงมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.19 ถึง 4.23 โดยชุดการทดลองส่วนใหญ่มีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ผงและน้ำผลไม้ผงมีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 1.0-4.0 (Pisuttisophon, 2004) ยกเว้นชุดการทดลองที่กำหนดให้การเติมแกมมาออร์บิกต่อมอลโตเด็กซ์ตริกที่สัดส่วน 10:90 และ 20:80 มีปริมาณความชื้นสูงกว่าที่กำหนด อย่างไรก็ตามค่า a_w ของเครื่องตีลูกหว้าผงมีค่าอยู่ในช่วง 0.15-0.19 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์เครื่องตีลูกหว้าผงที่ผลิตได้นี้ สามารถเก็บรักษาได้นาน มีความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ และมีความเสถียรระหว่างการเก็บรักษา (Wong *et al.*, 2017)

ตารางที่ 3 ผลของสัดส่วนแกมมาออร์บิกต่อมอลโตเด็กซ์ตริกต่อคุณภาพของผลผลิตเครื่องตีลูกหว้าผง

สัดส่วน (โดยน้ำหนัก)	ร้อยละผลผลิต (% Yield)	ค่าการละลาย (ร้อยละของตะกอนที่เหลือ)	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)
0:100	52.74±0.28 ^a	0	2.40±0.00 ^d	128.53±0.16 ^e
10:90	43.28±0.25 ^b	0	3.02±0.01 ^c	133.23±0.57 ^d
20:80	41.73±0.09 ^c	0	3.23±0.02 ^{ab}	135.06±0.46 ^c
30:70	40.23±0.30 ^d	0	3.35±0.02 ^a	156.96±0.08 ^a
40:60	39.05±0.09 ^e	0	3.15±0.02 ^b	145.46±0.63 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนองแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริกลดลง ปริมาณผลผลิตผง (% yield) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริกลดลง จะทำให้ค่า Tg ของแอนโทไซยานิน ลดลง จึงเพิ่มการเหนียวติดภายในห้องอบแห้งในระหว่างการทำแห้ง ส่งผลให้ได้ปริมาณผงน้อยลง

การละลายเป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ (Wong *et al.*, 2017) โดยผลิตภัณฑ์ผงควรจะเปียกและละลายได้เร็ว โดยไม่มีการจับตัวเป็นก้อน (Wong and Lim, 2016) การศึกษานี้พบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องตีลูกหว้าผงมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี สามารถละลายได้หมด โดยไม่มีลักษณะเป็นตะกอนเล็ก ๆ คาดว่าเป็นผลมาจากการเติมมอลโตเด็กซ์ตริกในปริมาณมาก สอดคล้องกับรายงานของ Wong *et al.* (2017) ที่กล่าวไว้ว่า การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริกช่วยเพิ่มความสามารถในการละลาย

ผลิตภัณฑ์เครื่องตีลูกหว้าผงที่ได้จากการศึกษานี้มีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 2.40 ถึง 3.35 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร และมีปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ในช่วง 128.53 ถึง 156.96 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร โดยที่ปริมาณวิตามินซีและแอนโทไซยานินสูงที่สุดเมื่อให้มีการเติมแกมมาออร์บิกต่อมอลโตเด็กซ์ตริกในสัดส่วน 30:70 ปริมาณวิตามินซีในผลิตภัณฑ์เครื่องตีลูกหว้าผงลดลงเมื่อเทียบกับน้ำลูกหว้าสด การสูญเสียวิตามินซีอาจเกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิความร้อนเข้ามากถึง 150 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตาม สังเกตพบว่า ปริมาณวิตามินซีในผลิตภัณฑ์เครื่องตีลูกหว้าผงมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตริกที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Shihawong (2003) ที่พบว่าปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวลดลง ตามปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริกที่สูงขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณแกมมาออร์บิกที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะแกมมาออร์บิกช่วยเพิ่มความคงตัวของแอนโทไซยานิน (Mahdavi *et al.*, 2016; Chung *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามเมื่อคำนึงถึงประโยชน์ของผลิตภัณฑ์เครื่องตีผลต่อสุขภาพ งานวิจัยนี้แนะนำว่า ในการผลิตเครื่องตีผงจากลูกหว้า ควรมีการเติมแกมมาออร์บิกต่อมอลโตเด็กซ์ตริกโดยใช้สัดส่วน 30:70 เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่ให้ปริมาณวิตามินซีและสารแอนโทไซยานินสูงที่สุด ขณะเดียวกันผลการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดรวมถึงยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์เครื่องตีลูกหว้าผง ปรากฏว่า ไม่พบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา ดังนั้นผลิตภัณฑ์เครื่องตีลูกหว้าผงมีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เครื่องตีผลไม้ผงหลายชนิด เช่น มะตูมผงขงตี (มาตรฐานเลขที่ มผช. 169/2556; Thai industrial standards institute, 2013a)

สมุนไพรรวมผงสำเร็จรูป (มาตรฐานเลขที่ มผช. 1441/2556; Thai industrial standards institute, 2013b) และ กล้วยผงขงติ่ม (มาตรฐานเลขที่ มผช. 1525/2562; Thai industrial standards institute, 2019) เป็นต้น

4. สรุป

จากการทดลองผลิตเครื่องติ่มลูกหว้าผงด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยกำหนดให้มีสัดส่วนของสารช่วยทำแห้ง คือ กัมอารบิกต่อมอลโทเดกซ์ทรินแตกต่างกัน 5 ระดับ สามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเครื่องติ่มลูกหว้าผงคือ สัดส่วนของกัมอารบิกต่อมอลโทเดกซ์ทรินเท่ากับ 30:70 เนื่องจากเป็นระดับสัดส่วนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีวิตามินซีและแอนโทไซยานินมากที่สุดและมากกว่าสัดส่วนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้ทุนอุดหนุนทำวิจัยครั้งนี้

6. บรรณานุกรม

- AOAC. 1995. **Official Methods of Analysis**. (16th ed.), Association of Official Analytical Chemistry, Washington D.C.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. (17th ed.), Gaithersburg, Maryland: Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
- Chung, C., Rojanasasithara, T., Mutilangi, W. and McClements, D.J. (2016). **Enhancement of Colour Stability of Anthocyanins in Model Beverages by Gum Arabic Addition**. Food Chemistry. 201: 14-22.
- Ekpong, A., W. Phomkong and E. Onsaard. 2016. **The Effects of Maltodextrin as a Drying Aid and Drying Temperature on Production of Tamarind Powder**. International Food Research Journal. 23(1): 300-308.
- Free encyclopedia. 2021. **Jambolan**. <https://th.wikipedia.org/wiki>. Accessed 21 July, 2021.
- Giusti, M. M. and R.E. Wrolstad. 2003. **Acyalted Anthocyanins from Edible Sources and Their Applications in Food Systems**. Biochemical Engineering Journal. 14(3): 217-225.
- Intipunya, P. and T. Thamee. 2014. **Effects of Spray Drying Process on Quality of Mulberry-Honey Mixed Powder**. Thai Agricultural Research Journal. 32(2): 140-153. (in Thai)
- Khunthawad, A. and J. Sripui. 2013. **Effects of Encapsulation by Spray Drying on Physical Properties of Mamao (*Antidesma Thwaitesianum*) Powder**. Graduate Research Conference 2013 Khon Kaen University BMP, 15: 386-391. (in Thai)
- Konghom, K. 2004. **Effects Of Sugars on The Stability of Anthocyanins in Fermented Java Plum Juice**. Master of Science Thesis (Economics Department). Graduate school, Kasetsart University. (in Thai)
- Mahdavi, S.A., S.M. Jafari, E. Assadpoor and D. Dehnad. 2016. **Microencapsulation Optimization of Natural Anthocyanins with Maltodextrin, gum Arabic and Gelatin**. International Journal of Biological Macromolecules. 85: 379-385.
- Pathomrungsiriyongkul, P., I. Phongsirikul and S. Sripraisorn. 2003. **Feasibility Study of Lime Powder Production Using Spray Dryer**. Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University. 46 p. (in Thai)

- Phuseerit, O., C. Najan, Y. Pangsri and S. Rattanasuk. 2019. **Effect of Yeast Isolated from Sugarcane Juice on Quality of Jambolan Plum (*Syzygium cumini*) Wine**. The Sci J of Phetchaburi Rajabhat. 16 (1): 35-41. (in Thai)
- Pisuttisopon, S. 2004. **Optimal Conditions for the Production of Powdered Palm Juice Using Spray Dryer**. Master's Thesis, Naresuan University. (in Thai)
- Pornchaloempong, P. and N. Rattanapanone. 2021a. **Maltodextrin**. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1914/maltodextrin>. Accessed 8 Apr. 2021. (in Thai)
- Pornchaloempong, P. and N. Rattanapanone. 2021b. **Gum acacia** (online). Source: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1489/acacia-gum-arabic>. Accessed 8 Apr. 2021. (in Thai)
- Samerwong, A. 2017. **Jambolan beverage in the Buddha era**. Technology Chaoban https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_37250. Accessed 12 Apr. 2021. (in Thai)
- Sarochwikasit, S. and C. Tangduangdee. 2011. Effect of drying temperature and drying aids on qualities of spray dried pineapple juice. **Agricultural Science Journal**, 34 (3): 203-215.
- Shihawong, W. 2003. **Effects of maltodextrin on qualities of lime powder produced by freeze drying**. Proceedings of 41st Kasetsart University Annual Conference, 3-7 February, 2003 Subject: Agro Industry: 286-293. (in Thai)
- Sirilert, T., N. Silalai, K. Chaysuriya and C. Sarawong. 2017. **Effect of Drying Process on Physicochemical Properties of Low-Calorie Non-Dairy Cream Powder From Rice Flour**. Burapha Sci. J. 22(2): 155-168. (in Thai)
- Swaminathan, S., J.D.B. Sowriappan, F. Sneha and S. Mallela. 2015. **Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder**. Powder Technology. 274: 37-43.
- Thai Industrial Standards Institute. 2019. **Thai community product standard: instant banana**. https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1525_62.pdf. Accessed 8 Apr. 2021. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute. 2013a. **Thai community product standard: instant bale fruit drink**. Sources: https://tcps.tisi.go.th/pub%5Ctcps0169_56.pdf. Accessed 8 Apr. 2021. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute. 2013b. **Thai community product standard: instant mixed herbs drink**. Sources: https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1441_56.pdf. Accessed 8 Apr. 2021. (in Thai)
- Wong, C. W., C.Y. Teoh and C.E. Putri. 2017. **Effect Of Enzymatic Processing, Inlet Temperature, And Maltodextrin Concentration on The Rheological and Physicochemical Properties of Spray-Dried Banana (*Musa Acuminata*) Powder**. Journal of Food Processing and Preservation. 42(2).e13451.
- Wong, C., and W. Lim. 2016. **Storage Stability of Spray-Dried Papaya (*Carica Papaya* L.) Powder Packaged in Aluminum Laminated Polyethylene (ALP) and Polyethylene Terephthalate (PET)**. International Food Research Journal. 23(5): 1887-1894.

(Received: 17/Sep/2021, Revised: 19/Dec/2022, Accepted: 23/Dec/2022)

การพยากรณ์ความสูงของบุคคลจากระยะก้าวเดินปกติและเดินเขย่ง

Forecasting of Stature from the Step Length while Walking and Toe Walking

ปุนยพร ตระกูลศีลธรรม¹ และ นพรุจ ศักดิ์ศิริ²

Punyaporn Trakulsillatham¹ and Noparuj Saksiri²

¹หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

²คณะสังคมศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

1Forensic Science program, Faculty of Science, Silpakorn University

2Faculty of Social Science, Royal Police Cadet Academy

E-mail: toon.punyaporn1412@gmail.com โทร. 086-4153590

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินปกติ และสร้างสมการพยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินปกติ 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินเขย่ง และสร้างสมการพยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินเขย่ง และ 3) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติและระยะก้าวเดินเขย่ง โดยการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง กลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 173 คน เก็บข้อมูลโดยทำการวัดระยะก้าวเดินปกติและเดินเขย่ง วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ สหสัมพันธ์เพียร์สัน การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย และ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน ผลการวิจัยพบว่า 1) ระยะก้าวเดินปกติในกลุ่มตัวอย่าง มีค่า $r = 0.953$ สามารถพยากรณ์ได้ร้อยละ 90.8 พยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินปกติเป็น $y = 110.241 + 0.978x$ เมื่อจำแนกตามเพศ พบว่า ในเพศหญิง มีค่า $r = 0.975$ ในเพศชาย มีค่า $r = 0.948$ 2) ระยะก้าวเดินเขย่งในกลุ่มตัวอย่าง มีค่า $r = 0.880$ สามารถพยากรณ์ได้ร้อยละ 77.5 พยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินเขย่งเป็น $y = 114.738 + 0.880x$ เมื่อจำแนกตามเพศ พบว่า ในเพศหญิง มีค่า $r = 0.811$ ในเพศชาย มีค่า $r = 0.852$ 3) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะก้าวเดินปกติและระยะก้าวเดินเขย่ง พบว่า ในกลุ่มตัวอย่าง ระยะก้าวเดินเขย่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าระยะก้าวเดินปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติ = 55.736 ระยะก้าวเดินเขย่ง = 56.848 และเมื่อจำแนกตามเพศ พบว่า ในเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติ = 52.598 ระยะก้าวเดินเขย่ง = 53.381 ในเพศชาย มีค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติ = 59.225 ระยะก้าวเดินเขย่ง = 60.692

คำสำคัญ : ความสูง ระยะก้าว เดินปกติ เดินเขย่ง การพยากรณ์

Abstract

The study aims to 1) determine the relationship between stature and step length while walking, along with generated the forecasted equation, 2) determine the relationship between stature and step length while toe walking, along with generated the forecasted equation, and 3) investigate the difference in step length between walking and toe walking. 173 samples were collected by measuring the step length while walking and toe walking. Descriptive statistics such as frequency, percentage, standard deviation, and reference statistics, including Karl Pearson's correlation, regression analysis, and paired sample t-test, were used for analyzing the data. The findings showed: 1) In samples, the significant relationship between stature and step length of walking were $r = 0.953$, which can forecast 90.8%. Forecasting of stature from the step length while walking was

$y = 110.241 + 0.978x$ when classified by gender, for females were $r = 0.975$ and for males were $r = 0.948$. 2) the significant relationship between stature and the step length of toe walking in samples, $r = 0.880$, which can forecast 77.5%. Forecasting of stature from the step length while toe walking was $y = 114.738 + 0.880x$ when classified by gender, for females were $r = 0.811$ and for males were $r = 0.852$. 3) In samples, the step length of toe walking was greater than the step length of walking, with statistical significance at the level of 0.01, such that the average step length of toe walking was 56.848 while the step length of walking was 55.736. When classified by gender, the average step length of toe walking for females was 53.381 while the step length of walking was 52.589, and the average step length of walking for males was 60.692 while the step length of walking was 52.589.

Keywords : stature, step length, walking, toe walking, forecasting

1. บทนำ

การพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล (Personal Identification) เป็นสิ่งเริ่มต้นในกระบวนการทางกฎหมาย เป็นกระบวนการอันเกิดจากการพิสูจน์พยานหลักฐานที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุ เพื่อระบุตัวตนของบุคคลอันเกี่ยวข้องกับทางคดี ไม่ว่าบุคคลนั้นจะเป็นผู้กระทำความผิด ผู้เสียหาย หรือผู้ที่คาดว่าจะเกี่ยวข้อง ปัจจุบันมีวิธีการตรวจพิสูจน์บุคคลหลายวิธี เช่น การใช้ความจำของมนุษย์จากสภาพที่หลงเหลือ ลักษณะเด่นที่เป็นเอกลักษณ์ หรือวิธีที่เป็นวิทยาศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นหลักฐานทางชีววิทยา เช่น เศษชิ้นส่วนเนื้อเยื่อ โครงกระดูก ตลอดจนสารคัดหลั่งของมนุษย์มาตรวจพิสูจน์ด้วยเอกลักษณ์ดีเอ็นเอ (Pangsorn, 2018) หรือหลักฐานทางฟิสิกส์ เช่น ร่องรอยการต่อสู้ ร่องรอยที่เกิดจากการสัมผัสหรือเหยียบย่ำ เช่น รอยนิ้วมือ รอยฝ่ามือ รอยฝ่าเท้า ซึ่งพบว่า รอยฝ่าเท้าหรือรอยรองเท้า เป็นวัตถุพยานที่อาจจะพบเป็นอันดับแรก และสามารถตรวจพบได้ง่ายในสถานที่เกิดเหตุ เนื่องจากมนุษย์ทุกคนต้องมีการก้าวเดิน ซึ่งไม่เพียงบอกขนาด รูปร่าง ของเท้าเท่านั้น แต่ยังสามารถบอกลักษณะของเจ้าของเท้าได้ด้วย เช่น เพศ ความสูง น้ำหนัก ลักษณะการเดินลงน้ำหนัก เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างร่างกาย นอกจากนี้สิ่งที่มักพบคู่กับรอยเท้าเสมอ คือ รอยระยะในการก้าวเดิน การวิเคราะห์ระยะก้าวโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติและสมการทางคณิตศาสตร์เข้ามาประยุกต์เพื่อพยากรณ์หาความสูง จึงมีความน่าสนใจ เพื่อสามารถนำมาวิเคราะห์ และจำกัดวงในการสืบสวนหาผู้ที่เกี่ยวข้องได้ เนื่องจาก ในสถานที่เกิดเหตุ จะพบรอยเท้าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ของบุคคลร่วมด้วย เช่น การเดิน การวิ่ง การก้าวยาว กระโดด การเดินเขย่ง หรือการย่อเอน และหากสามารถใช้ประโยชน์จากรอยเท้าดังกล่าว น่าจะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสืบสวนที่แท้จริง

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการตรวจพิสูจน์รอยเท้าเพื่ออ้างอิงกับรูปร่างบุคคลมีค่อนข้างจำกัด เนื่องจากความสนใจเกี่ยวกับคุณค่าของวัตถุพยานชนิดนี้น้อย จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการศึกษาของ Wittayarungroj (2019) ที่ทำการศึกษาเรื่อง ความสัมพันธ์ของความสูงจากระดับเท้าเดินด้วยโปรแกรมวินเอพีเอ็ม โดยศึกษาจากประชากรเพศชายจำนวน 30 คน และวิเคราะห์การเดินด้วยโปรแกรม พบว่า ความยาวก้าวเดิน มีความสัมพันธ์กับความสูงของมนุษย์อย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Nammungkun (2020) ที่ทำการศึกษาเรื่อง การประมาณความสูงของบุคคลจากความยาวก้าวเดินปกติและเปรียบเทียบความยาวเท้า ซึ่งพบว่าความสูงมีความสัมพันธ์กับการก้าวเดินปกติ และการศึกษาของ Kheawpum (2020) ที่ทำการศึกษาเรื่อง การคาดคะเนความสูงของบุคคลจากระยะก้าวเดินของการเดินแบบปกติ ซึ่งพบว่า ในเพศชายมีความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินอยู่ในระดับดี ส่วนเพศหญิงมีความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินอยู่ในระดับดีมาก และยังสอดคล้องกับงานวิจัยต่างประเทศของ Ugochukwu *et al.* (2021) ที่ทำการศึกษาความสูงจากระยะก้าวเดินและระยะช่วงล่างของชนกลุ่ม efiks ในอาสาสมัคร 300 คน เพศหญิงและเพศชาย 150 คน และพบว่า ความยาวก้าวและความยาวช่วงล่างมีความสัมพันธ์กับส่วนสูงและสร้างสมการพยากรณ์ความสูงได้ นอกจากนี้ การศึกษารูปแบบการเดินในลักษณะอื่น ๆ พบว่าการศึกษา

ของ Sorumlu (2019) ได้ทำการศึกษาเรื่องการประมาณส่วนสูงจากความเร็วในการเดินที่แตกต่างกัน โดยศึกษาเกี่ยวกับเพศชายและเพศหญิง รวม 206 คน โดยกำหนดความเร็วในการเดินคือ 3.3 และ 5.3 กม./ชม. ในเพศชาย และ 2.7 และ 4.7 กม./ชม. ในเพศหญิง พบว่า จากการเดินด้วยความเร็วที่ต่างกัน นำไปประมาณความสูงได้

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งไทยและต่างประเทศ ยังไม่มีการศึกษาความสัมพันธ์ของความสูงกับการเคลื่อนไหวในลักษณะอื่น เช่น การวิ่ง การก้าวยาว การเขย่ง ฯลฯ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงมีความสนใจการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลจากระยะก้าวเดินปกติและเดินเขย่ง เพื่อทำนายความสูงโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติและสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของรอยเท้าที่เกิดจากการเดินปกติและเดินแบบเขย่งกับความสูงของบุคคล และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการเดินปกติและเดินเขย่ง เนื่องจากการเดินเขย่ง คือการเดินในลักษณะของการเดินลงน้ำหนักที่ปลายเท้า โดยให้ส้นเท้าสัมผัสพื้นน้อยที่สุด ทำให้มีเสียงในระหว่างที่เดินเบาและหลงเหลือรอยเท้าในที่เกิดเหตุน้อยลง ซึ่งคนร้ายสามารถใช้การก่อคดี ร่องรอยจากการเดินเขย่งจึงอาจเป็นร่องรอยหนึ่งที่สามารถพบในสถานที่เกิดเหตุปะปนกับการเดินปกติ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกรณีที่รอยเท้าที่พบมีความไม่สมบูรณ์ เช่น ไม่ปรากฏร่องรอยส้นเท้าได้ จึงมีความน่าสนใจในการนำมาศึกษา และคาดหวังที่จะนำงานวิจัยครั้งนี้เป็นต้นแบบในการศึกษาลักษณะรอยเท้าแบบการเดินปกติและเดินเขย่ง และนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ได้จริงในการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลในกระบวนการพิสูจน์หลักฐานและสืบสวนสอบสวน เพื่อนำไปสู่การนำตัวผู้กระทำความผิดมารับโทษตามกฎหมาย ให้เกิดความสงบสุขและรักษาความเป็นระเบียบเรียบร้อยของประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินปกติ และสร้างสมการพยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินปกติ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินเขย่ง และสร้างสมการพยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินเขย่ง
3. เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติและระยะก้าวเดินเขย่ง

สมมติฐานของการวิจัย

1. ระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคลและสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01
2. ระยะก้าวเดินเขย่งมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคลและสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01
3. ระยะก้าวเดินเขย่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าระยะก้าวเดินปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

2. วิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ สายวัด (เซนติเมตร) เครื่องวัดความสูงแบบแสดงหน้าจอตัวเลข (digital screen) (เซนติเมตร) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบแสดงหน้าจอตัวเลข (digital screen) (กิโลกรัม) แบบฟอร์มเอกสารสำหรับจัดบันทึกข้อมูล สปีดสเตอร์ กระดาษขาวบาง เทปขาว

วิธีการ

1. ขึ้นกำหนดกลุ่มเป้าหมาย เก็บข้อมูลของผู้ทดสอบ และจัดเตรียมอุปกรณ์และสถานที่
 - 1.1) กำหนดกลุ่มเป้าหมาย โดยการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ในกรณีที่ศึกษาค่าเฉลี่ยประชากรแต่ไม่ทราบจำนวนประชากรจากสูตรของ Khazania (Khazania, 1996) เมื่อกำหนดให้ความเชื่อมั่นที่ 95% และกำหนดให้ความคลาดเคลื่อน (E) เป็น 1 ส่วนใน 6.7 ส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ $n = (1.96(6.7))^2$ จากสูตรคำนวณกลุ่มตัวอย่างได้ 172.45 คน ในงานวิจัยนี้จึงเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 173 คน แบ่งเป็นเพศหญิง จำนวน

91 คน และเพศชาย จำนวน 82 คน ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่มีอายุระหว่าง 20-50 ปี มีรูปร่างมาตรฐาน คือ มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 18.5 - 24.9 กิโลกรัม/เมตร² และไม่มีโรคประจำตัวที่เป็นอุปสรรคต่อการเดิน เช่น กระดูกหัก ข้อเสื่อม กล้ามเนื้ออ่อนแรง ฯลฯ

1.2) จัดเตรียมอุปกรณ์และสถานที่ให้ผู้ทดสอบ พื้นที่เป็นบริเวณสำหรับเดินได้ ระยะ 3-4 ก้าว วาง กระดาษขาวบางแปะด้วยเทปขาวกับพื้น เพื่อใช้สำหรับเดินและป้องกันไม่ให้กระดาษเคลื่อนระหว่างการทดสอบ

2. ขั้นตอนทำการทดลอง

2.1) เก็บข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ ได้แก่ ชื่อ อายุ เพศ โรคประจำตัว และทำการวัดและเก็บข้อมูลที่ใช้ ในการวิเคราะห์ คือ ชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบแสดงหน้าจอตัวเลข และความสูง ทำการวัดโดยใช้เครื่องวัด ความสูงแบบแสดงหน้าจอตัวเลข

2.2) ชี้แจงรายละเอียดแก่กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ วัตถุประสงค์ ขั้นตอน รายละเอียดของงานวิจัย และแนะนำ วิธีการให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใจก่อนโดยละเอียด พร้อมสาธิตวิธีการเดินปกติและเดินแบบเขย่ง โดยก่อนการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างต้องเซ็นใบยินยอมก่อนเข้าร่วมงานวิจัยทุกครั้ง และข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างจะถูกเก็บเป็นความลับใช้สำหรับ งานวิจัยนี้เท่านั้น

2.3) ให้ผู้ทดสอบถอดรองเท้า ทำความสะอาดเท้า จากนั้นทาสีโปสเตอร์สำหรับประทับรอยเท้า

2.4) ให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบครั้งที่ 1 โดยก้าวเดินในลักษณะของการเดินปกติก่อนเป็นระยะ 3-4 ก้าว

2.5) ผู้ทดสอบทำการทดสอบครั้งที่ 2 โดยก้าวเดินในลักษณะของการเดินเขย่ง เป็นระยะ 3-4 ก้าว ใน กระดาษอีกแผ่นหนึ่ง

2.6) ผู้วิจัยวัดระยะห่างระหว่างก้าว โดยใช้สายวัด นำมาเปรียบเทียบกับ โดยวัดจากระยะห่างของส่วน ปลายสุดกระดูกนิ้วเท้าข้างหนึ่ง ไปถึงส่วนปลายสุดของกระดูกนิ้วเท้าของอีกข้างหนึ่ง (step length) ในก้าวที่ 1 ถึงก้าว ที่ 4 หน่วยเป็นเซนติเมตร และนำมาหาค่าเฉลี่ยของระยะก้าว

2.7) ทำการทดลองกับผู้ทดสอบอื่นจนครบทั้งหมด 173 คน

3. ขั้นตอนเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล

3.1) จัดบันทึกผลการทดลอง ระยะก้าวที่ได้ และข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ เพื่อมาทำการเก็บข้อมูล

3.2) นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ผลข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่าง ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และด้วยสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงและระยะก้าวเดินปกติ และหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินเขย่ง โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) พร้อมสร้างสมการพยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินปกติ และสมการพยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินเขย่ง โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Regression Analysis) และ หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติและระยะก้าวเดินเขย่ง โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่ สัมพันธ์กัน (Paired Sample t-test) โดยผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การแปลผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) (Dennis, 1998) ไว้ดังนี้ 0.90 - 1.00 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูงมาก 0.70 - 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง 0.50 - 0.70 มีความ สัมพันธ์กันในระดับปานกลาง 0.30 - 0.50 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ และ 0.00 - 0.30 มีความสัมพันธ์กันในระดับ ต่ำมาก

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่าง

พบว่า กลุ่มตัวอย่างคือ ประชากรไทยจำนวน 173 คน โดยแบ่งเป็นเพศหญิง 91 คน คิดเป็นร้อยละ 52.60 และ เพศชาย 82 คน คิดเป็นร้อยละ 47.40 ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง จำนวน 91 คน มีค่าเฉลี่ยระยะก้าวเดินปกติเท่ากับ 52.59 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.88 โดยระยะก้าวเดินปกติที่ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 41.95, 63.75 เซนติเมตร

ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินเฉลี่ยเท่ากับ 53.38 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.91 โดยระยะก้าวเดินเฉลี่ยที่ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 44.00, 65.00 เซนติเมตร ตามลำดับ และในกลุ่มตัวอย่างเพศชายจำนวน 82 คน มีค่าเฉลี่ยระยะก้าวเดินปกติเท่ากับ 59.23 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.25 โดยระยะก้าวเดินปกติที่ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 42.63, 74.10 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินเฉลี่ยเท่ากับ 60.69 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.27 โดยระยะก้าวเดินเฉลี่ยที่ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 44.75, 75.88 เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสถิติพื้นฐานของระยะก้าวเดินปกติและระยะก้าวเดินเฉลี่ยในกลุ่มตัวอย่าง

ตัวแปร	$\bar{X}$	S.D.	Minimum	Maximum	N
ระยะก้าวเดินปกติในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง	52.59	4.88	41.95	63.75	91
ระยะก้าวเดินเฉลี่ยในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง	53.38	4.91	44.00	65.00	91
ระยะก้าวเดินปกติในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย	59.23	7.25	42.63	74.10	82
ระยะก้าวเดินเฉลี่ยในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย	60.69	7.27	44.75	75.88	82

3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินปกติ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินเฉลี่ย โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน และสร้างสมการพยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

1) ระยะก้าวเดินปกติในกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.953$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 90.8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์ความสูง เป็น $y = 110.241 + 0.978x$ แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1

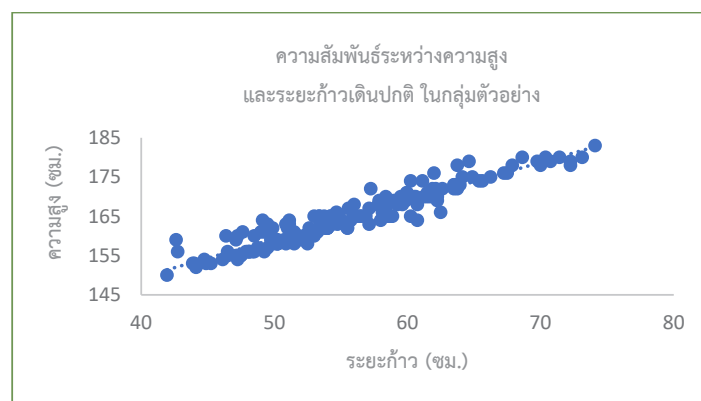
ตารางที่ 2 การพยากรณ์ความสูง (ซม.) จากระยะก้าวเดินปกติ (ซม.) ในกลุ่มตัวอย่าง

ปัจจัย	B	Std. Er.	Beta	t	p
ระยะก้าวเดิน (ซม.)	0.978	0.024	0.953	41.166	0.000**
(ค่าคงที่)	110.241				

SEEst = ± 2.164 ; $R = 0.953$; $R^2 = 0.908$; p-value = 0.000

** p < 0.01

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า p-value ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคลและสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกลุ่มตัวอย่าง (ซม.) และระยะก้าวเดินปกติ (ซม.)

2) **ระยะก้าวเดินปกติในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง** พบว่า ระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.975$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 95 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์ความสูง เป็น $y = 110.232 + 0.956x$ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การพยากรณ์ความสูง (ซม.) จากระยะก้าวเดินปกติ (ซม.) ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง

ปัจจัย	B	Std. Er.	Beta	t	p
ระยะก้าวเดิน (ซม.)	0.956	0.023	0.975	41.281	0.000**
(ค่าคงที่)	110.232				
SEest = ± 1.071 ; $R = 0.975$; $R^2 = 0.950$; p-value = 0.000					

** $p < 0.01$

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่า p-value ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคลและสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3) **ระยะก้าวเดินปกติในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย** พบว่า ระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.948$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 89.9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์ความสูง เป็น $y = 120.856 + 0.821x$ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การพยากรณ์ความสูง (ซม.) จากระยะก้าวเดินปกติ (ซม.) ในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย

ปัจจัย	B	Std. Er.	Beta	t	p
ระยะก้าวเดิน (ซม.)	0.821	0.031	0.948	26.652	0.00**
(ค่าคงที่)	120.856				
SEest = ± 2.010 ; $R = 0.948$; $R^2 = 0.899$; p-value = 0.00					

** $p < 0.01$

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่า p-value ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคลและสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

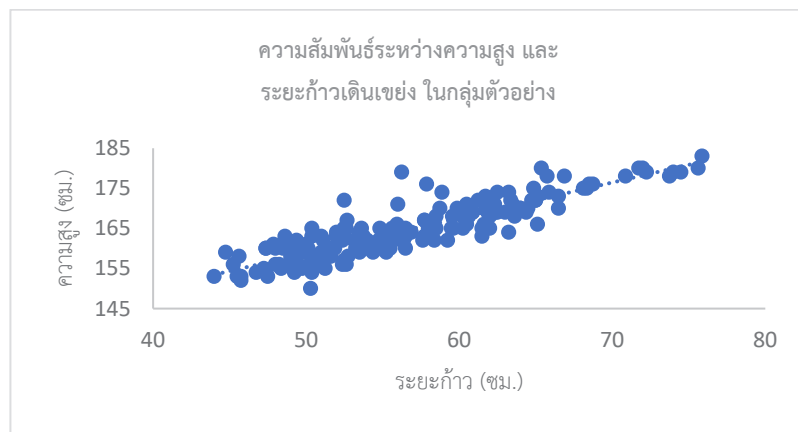
4) **ระยะก้าวเดินเขย่งในกลุ่มตัวอย่าง** พบว่า ระยะก้าวเดินเขย่งมีความสัมพันธ์กับความสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง ($r = 0.880$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 77.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์ความสูง เป็น $y = 114.738 + 0.880x$ แสดงดังตารางที่ 5 และภาพที่ 2

ตารางที่ 5 การพยากรณ์ความสูง (ซม.) จากระยะก้าวเดินเขย่ง (ซม.) ในกลุ่มตัวอย่าง

Factor	B	Std. Er.	Beta	t	p
ระยะก้าวเดิน (ซม.)	0.880	0.036	0.880	24.265	0.000**
(ค่าคงที่)	114.738				
SEest = ± 3.392 ; $R = 0.880$; $R^2 = 0.775$; p-value = 0.000					

** $p < 0.01$

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่า p-value ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานระยะก้าวเดินเขย่งมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคลและสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกลุ่มตัวอย่าง (ซม.) และระยะก้าวเดินแขน (ซม.)

5) ระยะก้าวเดินแขนในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง พบว่า ระยะก้าวแขนมีความสัมพันธ์กับความสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง ($r = 0.811$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 65.7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์ความสูง เป็น $y = 118.322 + 0.790x$ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การพยากรณ์ความสูง (ซม.) จากระยะก้าวเดินแขน (ซม.) ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง

ปัจจัย	B	Std. Er.	Beta	t	p
ระยะก้าวเดิน (ซม.)	0.790	0.060	0.811	13.066	0.000**
(ค่าคงที่)	118.322				
SEest = ± 2.814 ; $R = 0.811$; $R^2 = 0.657$; p-value = 0.000					

** p < 0.01

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่า p-value ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีความน้อยกว่า 0.01 สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานระยะก้าวเดินแขนมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคลและสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

6) ระยะก้าวเดินแขนในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย พบว่า ระยะก้าวเดินแขน มีความสัมพันธ์กับความสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง ($r = 0.852$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 72.6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์ความสูง เป็น $y = 124.784 + 0.737x$ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การพยากรณ์ความสูง (ซม.) จากระยะก้าวเดินแขน (ซม.) ในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย

Factor	B	Std. Er.	Beta	t	p
ระยะก้าวเดิน (ซม.)	0.737	0.051	0.852	14.568	0.000**
(ค่าคงที่)	124.784				
SEest = ± 3.306 ; $R = 0.852$; $R^2 = 0.726$; p-value = 0.000					

** p < 0.01

จากตารางที่ 7 พบว่า ค่า p-value ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีความน้อยกว่า 0.01 สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานระยะก้าวเดินแขนมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคลและสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติและเดินเขย่ง

ในกลุ่มตัวอย่าง ระยะก้าวเดินเขย่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.848 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.132 ส่วนระยะก้าวเดินปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.736 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.946 ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง ระยะก้าวเดินเขย่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.381 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.906 ส่วนระยะก้าวเดินปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.589 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.876 ในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย ระยะก้าวเดินเขย่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.692 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.266 ส่วนระยะก้าวเดินปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.225 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.251 แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติและระยะก้าวเดินเขย่งของกลุ่มตัวอย่าง

ชนิดการก้าวเดิน	เดินปกติ		เดินเขย่ง		z	p
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
กลุ่มตัวอย่าง	55.736	6.946	56.848	7.132	-5.753	0.000**
กลุ่มตัวอย่างเพศหญิง	52.589	4.876	53.381	4.906	-2.786	0.007**
กลุ่มตัวอย่างเพศชาย	52.225	7.251	60.692	7.266	-5.760	0.000**

** $p < 0.01$

จากตารางที่ 8 ค่า p-value ในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างเพศหญิง และกลุ่มตัวอย่างเพศชาย มีค่า 0.000 0.007 และ 0.000 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.01 สรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐาน ระยะก้าวเดินเขย่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าระยะก้าวเดินปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3.4 อภิปรายผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลระยะก้าวเดินปกติในกลุ่มตัวอย่างพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.953$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 90.8 เมื่อจำแนกตามเพศ ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.975$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 95 และในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก ($r = 0.948$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 89.9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แสดงให้เห็นว่า ในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างเพศหญิง และกลุ่มตัวอย่างเพศชาย ระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคล และสามารถใช้พยากรณ์ความสูงของบุคคลได้ เป็นเพราะว่า ร่างกายมนุษย์จะมีความสมมาตรและอัตราส่วนที่สอดคล้องกันในร่างกาย เพื่อให้เกิดความสมดุลและเคลื่อนไหวได้ดี โดยระยะก้าวเดินที่ได้ มาจากความยาวกระดูกขา (Femur) รวมกับกระดูกหน้าแข้ง (tibia) ซึ่งมีความสัมพันธ์และเป็นสัดส่วนของความสูง โดยพิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของร่างกาย ดังนั้น ผู้ที่มีความสูงมากก็จะก้าวเดินได้ระยะที่ยาวกว่าผู้ที่มีความสูงน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wittayarungroj (2019) ที่ทำการศึกษาความสูงจากระยะก้าวขณะเดินในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย พบว่า ความยาวของระยะการก้าวเดินมีความสัมพันธ์กับความสูง สามารถสร้างสมการพยากรณ์ความสูงได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Nammungkun (2020) และ Kheawpump (2020) ที่ทำการศึกษาความสูงของบุคคลจากระยะก้าวเดินในกลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิง พบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าวและความสูงอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สามารถสร้างสมการพยากรณ์ความสูงได้ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยต่างประเทศของ Ugochukwu *et al.* (2021) ที่ทำการศึกษาความสูงจากระยะก้าวเดินและรอยเท้าส่วนล่างของชนกลุ่ม efiks ในอาสาสมัคร 300 คน เพศหญิงและเพศชาย 150 คน และพบว่า ความยาวก้าวและขาส่วนล่างมีความสัมพันธ์กับส่วนสูงและสร้างสมการพยากรณ์ความสูงได้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลระยะก้าวเดินเขย่งในกลุ่มตัวอย่างพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง ($r = 0.880$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 77.5 เมื่อจำแนกตามเพศ ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง ($r = 0.811$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 65.7 และในกลุ่มตัวอย่าง

เพศชาย พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง ($r = 0.852$) และสามารถพยากรณ์ความสูงได้ร้อยละ 72.6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แสดงให้เห็นว่า ในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างเพศหญิง และกลุ่มตัวอย่างเพศชาย ระยะก้าวเดินเชิงมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคล และสามารถพยากรณ์ความสูงของบุคคลได้ เป็นเพราะว่าการเดินเชิงเป็นการเดินในลักษณะที่เดินโดยใช้เท้าและยกส้นเท้าขึ้นไม่ให้แตะพื้น ใช้ส่วนของนิ้วเท้าเป็นจุดลงน้ำหนัก ใช้กำลังกล้ามเนื้อมากขึ้น มุมองศาการเคลื่อนไหวของเข่าและข้อเท้ามากขึ้น และที่เข่ามีการเหยียดเพิ่มขึ้นและมีการหมุนเข่าด้านในเล็กน้อย (Matjačić *et al.*, 2006) ซึ่งต้องใช้ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และมีความมั่นคงน้อย ซึ่งการเดินเชิงเป็นการประสานงานซึ่งกันและกันระหว่างกล้ามเนื้อต่าง ๆ ของร่างกาย เป็นหนึ่งในรูปแบบการเดินและการเคลื่อนไหวร่างกาย เช่นเดียวกับการเดินปกติ โดยพิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของร่างกาย ดังนั้น ผู้ที่มีความสูงมากก็จะก้าวเดินแบบเชิงได้ระยะที่ยาวกว่าผู้ที่มีความสูงน้อย จึงสามารถนำมาใช้พยากรณ์ความสูงได้ แต่ระยะในการก้าวเดินเชิงมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ขึ้นอยู่กับเพศ อายุ การทรงท่า และความแข็งแรงทนทานของกล้ามเนื้อ ทำให้เมื่อนำไปพยากรณ์ความสูงมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง แต่ค่าความแม่นยำในการพยากรณ์ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการก้าวเดินปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลระยะก้าวเดินแบบปกติและเดินเชิงพบว่า ในกลุ่มตัวอย่าง การก้าวเดินแบบเดินปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.736 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.946 การก้าวเดินแบบเชิงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.848 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.132 ค่าเฉลี่ยของความต่างเท่ากับ -1.112 ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง การก้าวเดินแบบเดินปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.589 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.876 การก้าวเดินแบบเชิงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.381 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.906 ค่าเฉลี่ยของความต่างเท่ากับ -0.792 และในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย การก้าวเดินแบบเดินปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.225 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.251 การก้าวเดินแบบเชิงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.692 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.266 ค่าเฉลี่ยของความต่างเท่ากับ -1.466 แสดงให้เห็นว่า ในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างเพศหญิง และกลุ่มตัวอย่างเพศชาย ระยะก้าวเดินเชิงมีค่าเฉลี่ยมากกว่าระยะก้าวเดินปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เป็นเพราะว่า การเดินในลักษณะของเดินเชิงเป็นการเดินด้วยนิ้วเท้าซึ่งจะต้องยกส้นเท้าขึ้น ทำให้ความยาวของขาที่ใช้ในการก้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะก้าวที่ได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับความยาวปกติ และนอกจากนี้ การเดินเชิงจะมีผลทำให้มีจุดศูนย์ถ่วงเปลี่ยนแปลงไป ต้องใช้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง (gastrocnemius - soleus) และกล้ามเนื้อเหยียดปลายเท้า (plantar flexor) มากขึ้นจากการเดินปกติ ทำให้มีการเกร็งและก้าวขามากขึ้นในการเดิน (Perry *et al.*, 2003) และเมื่อพิจารณาการวิเคราะห์การเดินและวงจรการเดิน พบว่า ในระยะที่ขาวางอยู่บนพื้น (stance phase) ระยะที่ส้นเท้าแตะพื้น (heel strike) และระยะที่ฝ่าเท้าอยู่กับพื้น (foot flat) หายไป โดยใช้ นิ้วเท้าเป็นส่วนที่แตะพื้นและลงน้ำหนักแทนการเดินปกติที่ใช้ส้นเท้าและฝ่าเท้า เหลือเพียงระยะน้ำหนักตัวลงที่เท้า (mid stance) และระยะที่นิ้วเท้ายกจากพื้น (toe off) ที่เข่ามีการเหยียดเพิ่มขึ้น และมีการหมุนเข่าด้านในเล็กน้อย จากปัจจัยดังกล่าว สรีระวิทยาของร่างกาย ได้แก่ เข่าที่เหยียดมากขึ้น และกล้ามเนื้อเหยียดขาที่มากขึ้น ส่งผลให้ความยาวของขาเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะก้าวเดินเชิงมีระยะมากขึ้นและแตกต่างเมื่อเทียบกับการเดินปกติ

4. สรุปผล

จากผลการศึกษาพบว่า 1) ระยะก้าวเดินปกติมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคล และสามารถพยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 พบว่า ระยะก้าวเดินปกติในกลุ่มตัวอย่าง มีค่า $r = 0.953$ สามารถพยากรณ์ได้ร้อยละ 90.8 พยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินปกติเป็น $y = 110.241 + 0.978x$ 2) ระยะก้าวเดินเชิงมีความสัมพันธ์กับความสูงของบุคคล และสามารถพยากรณ์ความสูงของบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 พบว่า ระยะก้าวเดินเชิงในกลุ่มตัวอย่าง มีค่า $r = 0.880$ สามารถพยากรณ์ได้ร้อยละ 77.5 พยากรณ์ความสูงจากระยะก้าวเดินเชิงเป็น $y = 114.738 + 0.880x$ และ 3) ระยะก้าวเดินเชิงมีค่าเฉลี่ยมากกว่าระยะก้าวเดินปกติอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับ 0.01 โดยค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินปกติเท่ากับ 55.736 ระยะก้าวเดินเชิงเท่ากับ 56.848

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1) ด้านการตรวจพิสูจน์หลักฐาน เป็นอีกหนึ่งแนวทางให้ผู้ตรวจพิสูจน์นำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ โดยพิจารณาจากรอยระยะก้าวเดินเพื่อดูประเภทของลักษณะการเดิน และเลือกใช้สมการพยากรณ์ความสูงได้ถูกต้องมากขึ้น

2) ด้านการแพทย์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การเดินและการลงน้ำหนัก ในกรณีที่มีบุคคลที่เดินในลักษณะเขย่ง เพื่อหาความผิดปกติของร่างกาย หรือสาเหตุของอาการบาดเจ็บที่ส่งผลต่อการเดินได้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) ด้านประเด็นด้านการศึกษา

1.1) ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าวเดินในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับการก่ออาชญากรรมมากขึ้น เช่น การเดินเร็ว การวิ่ง การเดินย่อง เป็นต้น

1.2) ควรมีการศึกษาในเรื่องของปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อระยะก้าวเดินเพิ่มเติม เช่น ความยาวกระดูกขา ทั้ง 2 ข้าง ความกว้างและความยาวของกระดูกเท้า เป็นต้น

2) ด้านเครื่องมือการวิจัย

ควรมีการดำเนินการวิจัยโดยใช้เครื่องมือการวิจัยอื่น เช่น เครื่องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (gait motion analysis) เครื่องวิเคราะห์การเดินเซบรีส วินเอฟดีเอ็ม (Zebris WinFDM) หรือมาตรวัดที่มีค่าความละเอียดมากขึ้น เพื่อให้ได้ค่าระยะก้าวที่มีความแม่นยำ ลดความคลาดเคลื่อน และได้ค่าวิเคราะห์ปัจจัยอื่น เช่น การลงน้ำหนักของเท้า ความกว้างของระยะก้าวเดิน ฯลฯ มาประกอบในการศึกษาเพิ่มขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- Dennis E Hinkle. 1998. **Applied Statistics for the Behavior Sciences**. New York: Houghton Mifflin.
- Kheawpum, O. 2020. **Estimation of Stature of Person from Shoe Step Length**. Master's degree in forensic science program. Graduate school. Silpakorn University. (in Thai)
- Khonwi, c. 2017. **criminal problems in thai society**. Saeng Isan Academic Journal. 14. (in Thai)
- Matjačić, Z., et al. 2006. **Biomechanical characterization and clinical implications of artificially induced toe-walking: differences between pure soleus, pure gastrocnemius and combination of soleus and gastrocnemius contractures**. Journal of Biomechanics, 39(2), 255-266.
- Nammungkun, P. 2020. **Estimating the Height of a Person From the Length of Normal Gait Pattern**. Dusit Thani College Journal, 16. (in Thai)
- Pangsorn, A. 2018. **Identification**. Retrieved from [http://med.swu.ac.th/forensic/images/AP_identification\(new\)%201_60.pdf](http://med.swu.ac.th/forensic/images/AP_identification(new)%201_60.pdf). (in Thai). Accessed 12 Feb. 2022.
- Perry, J., et al. 2003. **Toe walking: Muscular Demands at the Ankle and Knee**. Archives of physical medicine and rehabilitation, 84(1), 7-16.
- Ramakant Khazania. 1996. **Statistics in a World of Applications**. New York, USA: HarperCollins College Publisher.
- Sorumlu Yazae. 2019. **Height Estimation from the Step Length at Different Walking Speed**. Antropoloji, 31-36.

- Ugochukwu, E. G., et al. 2021. **Estimation of stature from stride length and lower limb length of efiks in calabar South, Cross River State, South-South Nigeria.** Journal of The Anatomical Society of India, 70(4), 216.
- Wittayarungroj, P. 2019. **The Relationships between Stature and Walking Stride Length for Personal Classification using the WinFDM Software.** Master's degree in Faculty of Science and Technology. Graduate school. Suansunandha Rajabhat University, (in Thai)

(Received: 29/Mar/2022, Revised: 20/Dec/2022, Accepted: 22/Dec/2022)

การบูรณาการภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพ สำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม

Integrating Thai Traditional Medicine for the Development of Rehabilitation Devices for the Elderly with Osteoarthritis

ยิ่งยง รุ่งฟ้า¹ วุฒิชัย ยังสว่าง² และ พรชัย อัจฉริยเมธากร¹

Yingyong Rungfa¹, Wuttichai Youngswaing² and Pornchai Utchariyamedhakorn¹

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ² สาขาวิชาเทคโนโลยีโลจิสติกส์และการจัดการระบบขนส่ง

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹ Department of industrial product design technology,

² Logistics Technology and Transportation Management Program,

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

E-mail: Yingyong_ru@Rmutto.ac.Thl.com โทร. 0814984766

บทคัดย่อ

โรคข้อเข่าเสื่อมเป็นโรคที่เกิดจากความเสื่อมของกระดูกอ่อนผิวข้อทั้งทางด้านรูปร่าง โครงสร้างและการทำงานของกระดูกข้อต่อและกระดูกบริเวณใกล้เคียงที่มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมอาจมีความเสื่อมรุนแรงขึ้นตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะมีสภาวะป่วยเป็นโรคข้อเข่าเสื่อมที่ส่งผลทำให้ผู้สูงอายุมีอาการปวดทุกข้อมาเป็นอย่างมากประกอบกับการเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาที่เป็นภาระของรัฐบาล จากประเด็นดังกล่าวจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมโดยนำภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยมาบูรณาการ การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อฟื้นฟูสมรรถภาพผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมโดยนำผลจากการศึกษามาออกแบบสร้างอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมที่บูรณาการจากภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยและนำต้นแบบไปทำการประเมินประสิทธิภาพกับผู้สูงอายุที่ป่วยข้อเข่าเสื่อมทำการประเมินทางด้านการพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัว เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ แบบสัมภาษณ์ความต้องการในการออกแบบจากผู้สูงอายุ แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัด แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านแพทย์แผนไทย แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบ แบบสังเกตการณ์ และประเมินประสิทธิภาพทางด้านการพัฒนาการที่การเดิน การยืนทรงตัว กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ผู้สูงอายุชายและหญิงที่มีช่วงอายุ 60 - 70 ปี ที่ป่วยเป็นโรคข้อเข่าเสื่อมในระดับที่ 2 โดยนำผู้สูงอายุมาวัดด้วยเครื่องวัดสมดุร่างกายเพื่อหาการระดับความสมดุในการเดิน การยืนทรงตัวก่อนนำไปประเมินประสิทธิภาพ ซึ่งผลของการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้ ผลการออกแบบอุปกรณ์ภาพรวมมีขนาดกว้าง 45 เซนติเมตรยาว 45 เซนติเมตรสูง 90 เซนติเมตร โครงสร้างหลักผลิตจากเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และ 2.0 เซนติเมตรอุปกรณ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นที่รองนั่งโดยใช้ไม้เป็นที่รองนั่งมีอุปกรณ์ที่ใช้โยกทั้ง 2 ข้างโยกสลับไปมาโดยจะผ่านระบบกลไกที่ทำให้มีการโยกข้อเข่าทั้ง 2 ข้างโยกสลับไปมาตามหลักการของการยืดกล้ามเนื้อขา กระดูก ส่วนที่สองเป็นพนักพิงใช้ไม้เอียงทำมุม 105 องศาตามหลักการออกแบบพนักพิง ส่วนผลประเมินประสิทธิภาพด้านการพัฒนาการความสามารถในการเดิน การยืนทรงตัวภาพรวมอยู่ในระดับดี

คำสำคัญ : บูรณาการแพทย์แผนไทย พัฒนาอุปกรณ์ฟื้นฟู ผู้สูงอายุโรคข้อเข่าเสื่อม

Abstract

Osteoarthritis is a disease caused by the degeneration of the cartilage of the joint surface in both forms. The structure and function of the bones, joints and bones near the joints are changed and cannot be returned to their original state, there may be more severe degeneration accordingly. Studies have shown that most older adults have osteoarthritis, which can cause them a lot of pain, along with the burden of government care costs. Based on the above issues, it is interested in conducting research studies to design and develop rehabilitation devices for the elderly with osteoarthritis by integrating the wisdom of Thai traditional medicine. This research study aims to study and analyze the wisdom of Thai traditional medicine for rehabilitation of the elderly with knee osteoarthritis by using the results of the study to design and build a rehabilitation device for the elderly with knee osteoarthritis that is integrated from the wisdom of doctors. The model was used to evaluate the effectiveness of the elderly with knee osteoarthritis to assess the development of walking and standing. The tools used in the research were: An interview form for design needs from the elderly and an interview form with a specialist in physical therapy. Interview form for Thai traditional medicine specialists Design Specialist Interview Form observation form and to assess the developmental efficiency of walking and standing. Elderly males and females aged 60 - 70 years with stage 2 osteoarthritis by taking the elderly to measure with a body balance meter to determine the level of walking balance, standing balance before being evaluated for performance. The results of the research can be summarized as follows. The overall design of the device is 45 cm wide, 45 cm long, 90 cm high, the main structure is made of steel with a diameter of 2.5 cm and 2.0 cm. The device is divided into two parts, the first part being a seat using wood as a seat. There is a device that uses rocking on both sides to rock alternately through a mechanical system that causes rocking knee joints on both sides to lift back and forth according to the principle of stretching leg muscles, bones. The second part is a backrest using tilting sticks. at an angle of 105 degrees according to the design principle of the backrest. The evaluation results for the development of walking ability The stability was found that the overall picture was at a good level.

Keywords : Integrating Thai Traditional Medicine, Development of Rehabilitation Devices, Elderly with Osteoarthritis

1. บทนำ

Chanprasert (2017) กล่าวไว้ว่าปัจจุบันและอนาคตผู้สูงอายุจะเป็นประชากรกลุ่มใหญ่ของประเทศไทยมากขึ้นทุกขณะเนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์และสาธารณสุขทำให้ประชากรมีอายุยืนยาวขึ้นจำนวนผู้สูงอายุจึงเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ จากภาวะนี้ทำให้หลายประเทศในโลกรวมทั้งประเทศไทยด้วยที่มีความตื่นตัวและเตรียมการเพื่อรองรับและให้การดูแลประชากรกลุ่มนี้มากขึ้นการดูแลและส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุนับว่าเป็นภารกิจที่สำคัญสำหรับครอบครัว ชุมชนและสังคมโดยรวมสำหรับประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงวัย (Aging Society) และภาระโรครักมากขึ้นตามอายุผู้สูงอายุมีปัญหามะเร็งโรคมะเร็งมากกว่า 1 โรคมะเร็งกว่า 70 % สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้คาดประมาณแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงประชากรไทยได้ว่าสัดส่วนผู้สูงอายุจะเพิ่มจากร้อยละ 7.2 ในปี พ.ศ. 2559 เป็นร้อยละ 15.3 ในปี พ.ศ. 2563 คิดเป็นจำนวนตัวเลขประมาณ 10.776 ล้านคน ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงอย่างน่าตกใจเป็นผลมาจากความก้าวหน้าทางการแพทย์และสาธารณสุขรวมถึงการกระจายบริการด้านสาธารณสุข

และจากนโยบายการวางแผนครอบครัวที่ส่งผลให้อัตราการเจริญพันธุ์ของประชากรลดลง จึงทำให้ประชากรผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นและมีอายุยืนยาวขึ้น

โรคข้อเข่าเสื่อมเป็นโรคที่เกิดจากความเสื่อมของกระดูกอ่อนผิวข้อทั้งทางด้านรูปร่าง โครงสร้างและการทำงานของกระดูกข้อต่อและกระดูกบริเวณใกล้เคียงที่มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมอาจมีความเสื่อมรุนแรงขึ้นตามลำดับ โรคข้อเข่าเสื่อมแล้วจะอาการในระยะแรกเริ่มปวดเข่าในขณะที่มีการเคลื่อนไหวเช่นการเดิน การขึ้นลงบันได หรือการนั่งพับเข่าอาการจะดีขึ้นเมื่อหยุดพักการ ในขณะเดียวกันโรคข้อเข่าเสื่อมจะมีการข้อฝืดขัดโดยเฉพาะเมื่อหยุดการเคลื่อนไหวเป็นเวลานานเมื่อขยับข้อจะรู้สึกถึงการเสียดสีของกระดูกหรือมีเสียงดังในข้อและเมื่อมีภาวะข้อเสื่อมรุนแรง อาการปวดจะรุนแรงมากขึ้น สำหรับประเทศไทยภาวะข้อเข่าเสื่อมเป็นภาวะที่พบได้บ่อยในผู้สูงอายุและมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากการที่ประชากรในประเทศไทยมีผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างมากซึ่งปัจจุบันพบผู้ป่วยมากกว่า 6 ล้านคน ผู้สูงอายุที่อายุมากกว่า 65 ปีขึ้นไปพบได้ถึงร้อยละ 70 สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากน้ำหนักตัวที่มากเกินไปการใช้ข้อเข่ามากเป็นเวลานานกว่าปกติหรือผิดท่ารวมถึงพฤติกรรมการใช้ข้อเข่าที่ผิดเช่นนั่งคุกเข่าพับเข่า ขัดสมาธิซึ่งเป็นท่าที่ทำให้ข้อเข่าถูกกดทับและเอ็นกล้ามเนื้อถูกยืดมากการนั่งนาน ๆ ที่ส่งผลทำให้การหมุนเวียนของเลือดไปเลี้ยงข้อเข่าไม่ได้ดีส่งผลทำให้เป็นโรคข้อเข่าเสื่อมได้ง่ายผู้ที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมมาก ๆ จะมีอาการเจ็บหรือปวดข้อเข่าผิดรูปข้อฝืด หรือข้อติดเดินได้ไม่ปกติ การปฏิบัติภารกิจประจำวันต่าง ๆ ไม่สะดวกส่งผลต่อความทุกข์ทรมานทั้งด้านร่างกายและจิตใจ

Tanwattana (2017a) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายท่ากล้ามเนื้อต้นขาในผู้สูงอายุที่ป่วยด้วยโรคข้อเข่าเสื่อม โดยมีรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง โดยการใช้วิธีการบริหารร่างกายในระบบกล้ามเนื้อและกระดูกแบบ Range of motion exercise โดยเป็นการบริหารเพื่อให้มีการเคลื่อนไหวของข้อที่ตึงหรือคงหน้าที่ในการเคลื่อนไหวของข้อนั้น ๆ ไว้ตาม พิสัยของข้อซึ่งมีอวัยวะที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยคือ joint capsule , ligament, tendon และกล้ามเนื้อจากการทดลองจากผู้ป่วยที่ข้อเข่าเสื่อมระดับน้อยถึงปานกลางพบว่าผู้ป่วยมีอาการปวดเข่าลดลงและสามารถประกอบกิจวัตรประจำวันได้ดีขึ้นและผลงานวิจัยของ Weerasirirat (2019) ได้ทำการศึกษาผลของการจัดการทางกายภาพบำบัดในพระสงฆ์สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม โดยทำการเปรียบเทียบผลของการจัดการทางกายภาพบำบัดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมก่อนและหลังการได้รับการรักษาโดยใช้วิธีการยืดกล้ามเนื้อขา การออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูก ในรูปแบบ Range of motion exercise ผลจากการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการรักษาพบว่ามีความรู้และความรุนแรงของอาการปวดลดลง แสดงให้เห็นว่าได้ว่าการจัดการทางกายภาพบำบัดโดยการออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูกในรูปแบบ Range of motion exercise Range of motion สามารถเป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษาผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมเพื่อลดอาการปวดและเพิ่มความสามารถในการทำงานของข้อเข่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Onchom (2013) กล่าวถึงทางเลือกรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมโดยใช้ภูมิปัญญาไทยทางการแพทย์แผนไทยที่ล้วนแต่มีองค์ความรู้และประสบการณ์ในการตรวจวินิจฉัยและบำบัดรักษาอาการปวดข้อสามารถเป็นทางเลือกที่ลดการพึ่งพาเทคโนโลยีทางการแพทย์ซึ่งมีราคาแพงและมีโอกาสเกิดภาวะแทรกซ้อนจากการใช้ยาในส่วนของแพทย์แผนไทยได้ เรียกโรคข้อเข่าเสื่อมทางแพทย์แผนไทยว่าเป็นโรคเกี่ยวกับทางลมชนิดหนึ่งคือโรคลมจับโป่งแห้งเป็นลักษณะของลมจับโป่งชนิดหนึ่งมีการอักเสบรุนแรงของข้อเข่าทำให้มีอาการปวด บวม แดง ร้อนที่เข่าเล็กน้อย เข่าติด ขาโก่ง นั่งยอง ๆ ไม่ได้ อาการปวดในโรคข้อเข่าเสื่อมมักมีลักษณะปวดตื้อ ๆ ทั่ว ๆ ข้อฝืดตึง (stiffness) พบได้บ่อยในช่วงเช้า (morning stiffness) แต่มักไม่เกิน 30 นาที อาการฝืดตึงอาจเกิดขึ้นชั่วคราวในช่วงแรกของการเคลื่อนไหว ข้อใหญ่ผิดรูป (bony enlargement) พบมีข้อบวมใหญ่ซึ่งเกิดจากกระดูกที่งอกบริเวณข้อและเมื่อโรครุนแรงมากขึ้นอาจพบขาโก่ง (bow leg) อาจมีอาการบวมจากในข้อเข่า (effusion) และมีเสียงดังกรอบแกรบ (crepitus) ในข้อเข่าขณะเคลื่อนไหว ซึ่งแนวทางการรักษาตามหลักการแพทย์แผนไทยโดยใช้วิธีทางหัตถบำบัดที่เป็นวิธีการรักษาและเพิ่มสมดุลงของข้อเข่าทำให้เพิ่มการไหลเวียนของเลือดและการยืดเหยียดของข้อเข่า การเคลื่อนไหวสะดวกขึ้นสอดคล้องกับ Boonsinsuk (2016) ทำการศึกษาวิธีทางหัตถบำบัดเพื่อบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม ผลการศึกษาพบว่าการใช้วิธีทางหัตถบำบัดนำมาใช้ร่วมกับวิธีการ

ยืดกล้ามเนื้อขาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูกสามารถบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมได้และยังช่วยลดการยึดติดของพังผืดได้

จากความเป็นมาและปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยเห็นความสำคัญในการบำบัดฟื้นฟูผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมที่เป็นภาระของคนในครอบครัวที่จะต้องดูแล โดยเฉพาะผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นข้อเข่าเสื่อมมีอาการปวดและทุกข์ทรมานเป็นอย่างมากประกอบกับการเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม โดยนำแนวคิดการบำบัดรักษาทางภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยมาใช้ในการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมด้วยวิธีทางหัตถบำบัดโดยนำมาบูรณาการร่วมกับหลักทฤษฎีการทำทางกายภาพโดยใช้วิธีการบริหารร่างกายในระบบกล้ามเนื้อและกระดูกแบบ Range of motion exercise ที่เป็นการบริหารเพื่อให้มีการเคลื่อนไหวของข้อ การยืดกล้ามเนื้อขาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูกที่จะส่งผลดีต่อความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุและหลักการออกแบบที่คำนึงถึงรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความต้องการในการใช้งาน มีประโยชน์ใช้สอยที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และเลือกวัสดุที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานและสามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

2. วิธีการศึกษา

การวิจัยเรื่อง การบูรณาการภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม มีวิธีการดำเนินการวิจัยเพื่อนำไปสู่เป้าหมายและครอบคลุมทุกส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

2.1.1 การศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทฤษฎีภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม การบำบัดฟื้นฟูสำหรับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม การทำทางกายภาพสำหรับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม วิธีการบริหารผู้เป็นโรคข้อเข่าเสื่อม การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกายภาพบำบัดข้อเข่า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์การเคลื่อนไหวข้อเข่าเสื่อม

2.1.2 การสำรวจภาคสนาม

เป็นการลงพื้นที่หน่วยกายภาพบำบัดโรงพยาบาลชลบุรี จังหวัดชลบุรีโดยทำการศึกษาวิธีการบำบัดฟื้นฟูข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ การใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำกายภาพบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ การศึกษาการใช้ภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยในการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมที่หน่วยงานแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก สำนักสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี ตลอดจนการศึกษารูปแบบต่าง ๆ อุปกรณ์ที่ช่วยในการฟื้นฟูข้อเข่าเสื่อมตามหน่วยงานที่มีการบำบัดฟื้นฟูต่าง ๆ

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อนำผลการวิจัยมาทำออกแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมมีขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

- 2.2.1 ขอความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย
- 2.2.2 ทำลงพื้นที่เก็บข้อมูล และรวบรวมข้อมูล
- 2.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุป

2.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

2.3.1 ขอบเขตการศึกษาข้อมูล

- 2.3.1.1 ขนาดสัดส่วนของมนุษย์และลักษณะทางกายภาพของผู้สูงอายุ
- 2.3.1.2 ภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อการบำบัดฟื้นฟูสมรรถภาพของผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม

2.3.1.3 หลักการทำกายภาพบำบัดเพื่อการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ

2.3.1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการออกแบบ และการออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำกายภาพบำบัด

2.3.1.5 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุและการออกแบบอุปกรณ์ฟื้นฟูข้อเข่าเสื่อม

2.3.2 ขอบเขตการออกแบบ

2.3.2.1 นำหลักการบำบัดรักษาจากภูมิปัญญาแพทย์แผนไทย หลักการทำทางกายภาพแบบ Range of motion exercise มาบูรณาการร่วมกับหลักการออกแบบ

2.3.2.2 เป็นอุปกรณ์ทำกายภาพบำบัดในท่าลักษณะท่านั่งและมีอุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนไหวในส่วนข้อเข่าทั้ง 2 ข้าง

2.3.2.3 มีความสะดวกในการใช้งานแข็งแรงปลอดภัยในการใช้งานกับผู้สูงอายุ

2.3.2.4 สามารถพับเพื่อการเคลื่อนย้ายได้สะดวก

2.3.2.5 เลือกใช้วัสดุที่อยู่ในประเทศและไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน

2.3.3 ขอบเขตการทดลองและการกำหนดประชากร

เป็นการทดลองโดยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพที่ทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัดประเมินทางด้านพัฒนาการในการเดิน ในการยืนทรงตัว ในการกำหนดกลุ่มตัวอย่างจะทำการคัดเลือกผู้สูงอายุชายและหญิงที่มีช่วงอายุ 60 - 70 ปี ที่ป่วยเป็นโรคข้อเข่าเสื่อมในระดับที่ 2 มีอาการของโรคข้อเข่าเสื่อมผู้ป่วยควรได้รับการบำบัดรักษาเบื้องต้น (Khirikaew, 2018) วิธีคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างนำผู้สูงอายุที่คัดเลือกไว้จำนวน 32 คน มาทำการทดสอบกับเครื่องวัดสมดุร่างกายเพื่อหาค่าระดับความสมดุลในการเดิน การยืนทรงตัวเพื่อให้ทราบสมรรถภาพทางร่างกายของผู้สูงอายุ จากนั้นเลือกผู้สูงอายุที่มีสมรรถภาพทางร่างกายที่ใกล้เคียงกันจำนวน 15 คน โดยคัดเลือกเพศชาย 8 คน และหญิงเพศ 7 คน นำมาทำการทดลองใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาทำการทดลองโดยใช้เวลาในการทดลอง 3 วันคือ วันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ ทดลองวันละ 45 นาทีต่อคน ต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ อ้างใน Poomsalud (2017) เพื่อประเมินพัฒนาการหลังจากการใช้อุปกรณ์ซึ่งใช้เกณฑ์ในการประเมินดังนี้

- 1 หมายถึง มีพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวอยู่ในระดับน้อย
- 2 หมายถึง มีพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวอยู่ในระดับปานกลาง
- 3 หมายถึง มีพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวอยู่ในระดับดี

2.3.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

2.3.4.1 ตัวแปรต้นได้แก่ อุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมที่บูรณาการจากแพทย์แผนไทย

2.3.4.2 ตัวแปรตามได้แก่ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมที่บูรณาการจากแพทย์แผนไทยที่สามารถช่วยในการบำบัดรักษาฟื้นฟูผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมที่ส่งผลต่อพัฒนาการความสามารถในการเดิน การยืนทรงตัวของผู้สูงอายุ

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.4.1 แบบสัมภาษณ์ (Interview)

2.4.1.1 แบบสัมภาษณ์ผู้สูงอายุเป็นการสัมภาษณ์ถึงปัญหาความต้องการในการใช้อุปกรณ์เพื่อนำมาวิเคราะห์หาแนวทางในการออกแบบให้มีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุ

2.4.1.2 แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัดเป็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการทำกายภาพบำบัดเพื่อรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม ผู้เชี่ยวชาญทางด้านแพทย์แผนไทยเป็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการบำบัดรักษาตามภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยและผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเป็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับรูปแบบของผลิตภัณฑ์

2.4.2 แบบสังเกตการณ์ (Observe)

แบบสังเกตการณ์วิธีขึ้นตอนในการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุโดยการถ่ายภาพนิ่ง และภาพเคลื่อนไหว ตลอดจนจดบันทึกเพื่อเป็นข้อมูลในการหาแนวทางในการออกแบบ และการสังเกตจากการทดลองใช้หุ่นจำลองเพื่อทดสอบหาความเหมาะสมให้ทราบถึงปัญหาในการใช้งานและนำมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อการสร้างต้นแบบจริงต่อไป

2.4.3 แบบประเมินประสิทธิภาพ (Performance evaluation)

เป็นการประเมินประสิทธิภาพจากต้นแบบ (Prototype) ที่สร้างขึ้นทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัดมีประเด็นในการประเมินในด้านการพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัว

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาที่เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของผู้สูงอายุการศึกษาและการรักษาโดยใช้ภูมิปัญญาแพทย์แผนไทย เพื่อฟื้นฟูสมรรถภาพผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม หลักการทำทางกายภาพโดยใช้วิธีการบริหารร่างกายในระบบกล้ามเนื้อและกระดูกแบบ Range of motion exercise เพื่อการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุตลอดจนการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการออกแบบ จากผลการศึกษาเพื่อนำมาบูรณาการการออกแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม

3.2 ผลการสัมภาษณ์

3.2.1 ผลการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุในส่วนของรูปแบบออกแบบให้มีความเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนของผู้สูงอายุ มีอุปกรณ์ยึดจับในขณะใช้งาน เลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงมีปลอดภัยในการใช้งาน

3.2.2 ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัดทำการออกแบบโดยนำหลักและวิธีการทำกายภาพบำบัด เพื่อรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุให้มียุทธศาสตร์ช่วยในการรักษาในลักษณะสลับขึ้น ลง

3.2.3 ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านแพทย์แผนไทยทำการออกแบบให้สามารถยืดเหยียดในส่วนข้อเข่า เพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูกเพื่อการรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมตามหลักการรักษาหัตถบำบัด

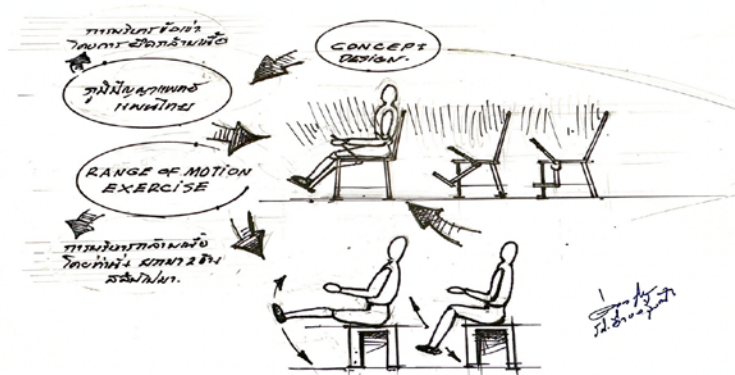
3.2.4 ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบทำการออกแบบให้มีประโยชน์ใช้สอยในการใช้งาน เลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงและสามารถผลิตในระบบอุตสาหกรรมได้เพื่อการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

3.3 ผลการออกแบบ

เป็นผลจากการศึกษาจากเอกสาร การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำกายภาพบำบัดโดยใช้ภูมิปัญญาแพทย์แผนไทย หลักการทำทางกายภาพโดยใช้วิธีการบริหารร่างกายในระบบกล้ามเนื้อและกระดูกแบบ Range of motion exercise เพื่อการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุนำมาวิเคราะห์เพื่อทำการออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้น

3.3.1 การออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้น

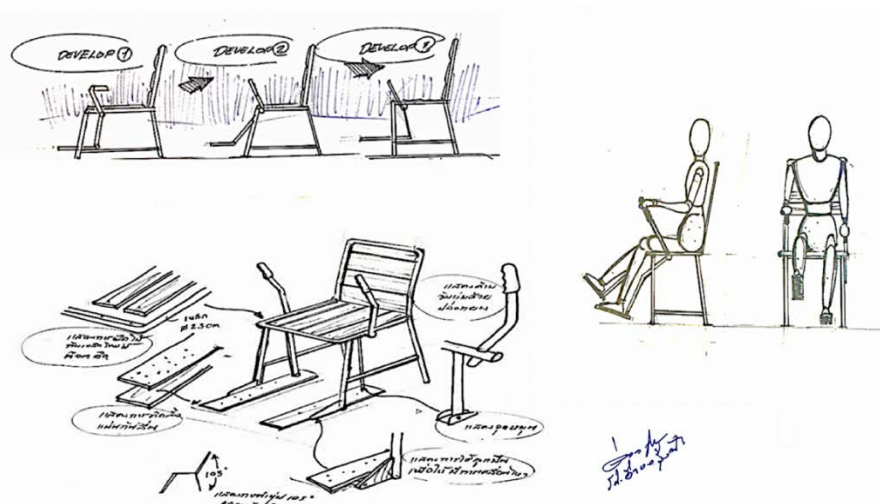
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นที่เป็นผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนผลจากคำแนะนำผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ดังนี้



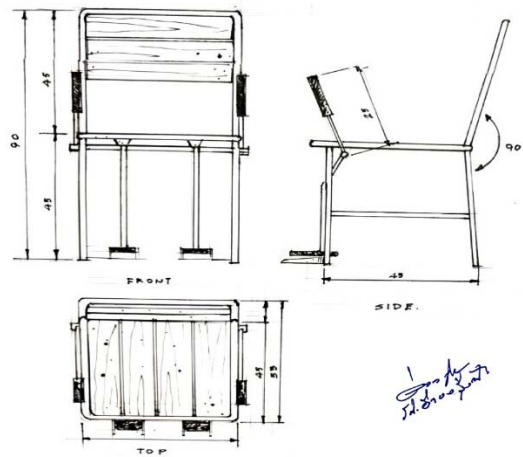
ภาพที่ 1 แนวคิดเบื้องต้นอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม

จากภาพที่ 1 เป็นการแสดงแนวคิดเบื้องต้นที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลทางด้านภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยกับหลักการทำทางกายภาพ และหลักการออกแบบมาทำการออกแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมในท่านั่ง

จากภาพที่ 2 เป็นการพัฒนาแบบร่างแนวคิดอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม แนวทางในการออกแบบโดยใช้หลักการหลักแนวคิดภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อบำบัดโรคข้อเข่าเสื่อมและหลักการท่าทางกายภาพโดยใช้วิธีการบริหารร่างกายในระบบกล้ามเนื้อและกระดูกแบบ Range of motion exercise มาบูรณาการร่วมกับหลักการออกแบบซึ่งรูปแบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นที่รองนั่งโดยใช้ไม้เป็นที่รองนั่งมีอุปกรณ์ที่ไต่โยกทั้ง 2 ข้างโยกสลับไปมาโดยจะผ่านระบบกลไกที่ทำให้มีการโยกข้อเข่าทั้ง 2 สลับไปตามหลักการของการยืดกล้ามเนื้อขา กระดก ส่วนที่สองเป็นพนักพิงใช้ไม้เป็นที่รองเอียงทำมุม 105 องศาตามหลักการออกแบบพนักพิง



ภาพที่ 2 การพัฒนาแบบร่างแนวคิดอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม



ภาพที่ 3 แสดงขนาดสัดส่วนของอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม

จากภาพที่ 3 เป็นผลจากการศึกษาขนาดสัดส่วนมาตรฐานของเก้าอี้มาทำการออกแบบให้มีความสอดคล้องกับขนาดสัดส่วนของร่างกายมนุษย์ (Anthropometry) ในทำนองตามหลักการของการยศาสตร์ (Ergonomics) โดยคำนึงถึงความสะดวกสบายในการใช้งาน

3.3.2 การสร้างต้นแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม



ภาพที่ 4 การสร้างต้นแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม

การสร้างต้นแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมที่มีขนาดเท่าของจริงขนาดในภาพรวมกว้าง 45 เซนติเมตรยาว 45 เซนติเมตรสูง 90 เซนติเมตรวัสดุที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างหลักได้แก่ เหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับโยกผลิตจากเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เป็นวัสดุที่ใช้นำมาประกอบเลือกใช้ไม้ที่มีขนาดหนา 1.5 เซนติเมตร นำมาใช้ในส่วนของพนักพิงและที่วางเท้า

3.3.3 ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม



ภาพที่ 5 ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม

3.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพ

เป็นการประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบ (Prototype) ที่สร้างขึ้นทำโดยให้ผู้สูงอายุจำนวน 15 คน เป็นเพศชาย 8 คน และเพศหญิง 7 คน ทำการทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบโดยให้นักกายภาพบำบัดเป็นผู้ประเมินโดยใช้เวลาในการทดสอบประสิทธิภาพ 3 วันคือ วันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ โดยใช้เวลาการทดลองวันละ 45 นาทีต่อคน ต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ อ้างอิงใน Poomsalud (2017) โดยมีเกณฑ์ในการประเมินคือ 1 หมายถึงมีพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย, 2 หมายถึงมีพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวอยู่ในระดับปานกลาง 3, หมายถึงมีพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวอยู่ในระดับดี, โดยมีผลการประเมินดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางประเมินประสิทธิภาพ

จำนวนผู้สูงอายุ	การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัว				หมายเหตุ
	ระยะเวลาในการประเมิน (สัปดาห์)				ผู้สูงอายุชาย หญิง
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	ผลการประเมิน
คนที่ 1	1	1	2	3	ผ่าน
คนที่ 2	1	1	1	2	ผ่าน
คนที่ 3	1	1	2	3	ผ่าน
คนที่ 4	1	1	2	3	ผ่าน
คนที่ 5	1	1	1	2	ผ่าน
คนที่ 6	1	1	1	2	ผ่าน
คนที่ 7	1	1	2	3	ผ่าน
คนที่ 8	1	1	1	2	ผ่าน
คนที่ 9	1	1	2	3	ผ่าน
คนที่ 10	1	1	2	3	ผ่าน
คนที่ 11	1	1	2	3	ผ่าน
คนที่ 12	1	1	1	2	ผ่าน
คนที่ 13	1	1	1	2	ผ่าน
คนที่ 14	1	1	2	3	ผ่าน
คนที่ 15	1	1	2	3	ผ่าน

หมายเหตุ การประเมินประสิทธิภาพประเมินโดยนักกายภาพบำบัดมีผลการประเมินดังนี้

ผู้สูงอายุคนที่ 1 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ปานกลาง และสัปดาห์ที่ 4 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับดี

ผู้สูงอายุคนที่ 2 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ปานกลาง

ผู้สูงอายุคนที่ 3 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ปานกลาง

ผู้สูงอายุคนที่ 4 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ปานกลาง และสัปดาห์ที่ 4 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับดี

ผู้สูงอายุคนที่ 5 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ปานกลาง

ผู้สูงอายุคนที่ 6 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ปานกลาง

ผู้สูงอายุคนที่ 7 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ปานกลาง และสัปดาห์ที่ 4 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับดี

ผู้สูงอายุคนที่ 8 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ปานกลาง

ผู้สูงอายุคนที่ 9 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ปานกลาง และสัปดาห์ที่ 4 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับดี

ผู้สูงอายุคนที่ 10 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ปานกลาง และสัปดาห์ที่ 4 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับดี

ผู้สูงอายุคนที่ 11 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ปานกลาง และสัปดาห์ที่ 4 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับดี

ผู้สูงอายุคนที่ 12 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ปานกลาง

ผู้สูงอายุคนที่ 13 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 4 ปานกลาง

ผู้สูงอายุคนที่ 14 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ปานกลาง และสัปดาห์ที่ 4 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับดี

ผู้สูงอายุคนที่ 15 สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับน้อย สัปดาห์ที่ 3 ปานกลาง และสัปดาห์ที่ 4 การพัฒนาการในการเดิน การยืนทรงตัวระดับดี

4. สรุป

4.1 สรุปผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรุปผลจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของผู้สูงอายุ ผลการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของผู้สูงอายุการศึกษาและวิเคราะห์ภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อฟื้นฟูสมรรถภาพผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม หลักการนวดเพื่อการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ หลักการท่ากายภาพบำบัดเพื่อการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุตลอดจนการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการออกแบบ จากผลการศึกษาผู้วิจัยได้นำผลมาบูรณาการเพื่อการออกแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อมโดยใช้แนวคิดภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยเพื่อบำบัดโรคข้อเข่าเสื่อมด้วยวิธีทางหัตถบำบัดเพื่อบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมของ Boonsinsuk (2016) ได้กล่าวถึงวิธีทางหัตถบำบัดเพื่อบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมโดยใช้วิธีการยืดกล้ามเนื้อข้อเข่าเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูกที่สามารถบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมได้ และนำทฤษฎีการทำทางกายภาพของ Tanwattana (2017b) ได้กล่าวถึงวิธีการบริหารร่างกายในระบบกล้ามเนื้อและกระดูกแบบ Range of motion exercise ที่เป็นการบริหารเพื่อให้มีการเคลื่อนไหวของข้อ การยืดกล้ามเนื้อข้อเข่าเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูก ตลอดจนผลจากการศึกษาทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ของ Rungfah (2019) ได้กล่าวถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องคำนึงถึงรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ใช้สอย วัสดุและกรรมวิธีการผลิตในเชิงพาณิชย์

4.2 สรุปผลการสัมภาษณ์

สรุปผลจากการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการนวดกายภาพบำบัด ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบ แพทย์แผนไทยได้จากการสัมภาษณ์ผู้วิจัยได้นำผลมาสรุป วิเคราะห์เพื่อทำการออกแบบอุปกรณ์ให้มีขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ โดยนำหลักการรักษาตามภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยให้สามารถการยืดเหยียดของข้อเข่าเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูก สอดคล้องกับแนวคิดการรักษาข้อเข่าเสื่อมตามภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยของ Boonsinsuk (2016) และยังมีอุปกรณ์โยกเพื่อให้ขาทั้ง 2 ข้างได้มีการขยับขึ้น ลง สลับไปมาเพื่อเป็นการกระตุ้นให้กล้ามเนื้อในส่วนข้อเข่าให้มีการเคลื่อนไหว สอดคล้องกับแนวคิดการรักษาข้อเข่าเสื่อมของ Petcharat (2015) ได้กล่าวถึงการรักษาข้อเข่าเสื่อมจะมุ่งเน้นไปที่การบริหารข้อเข่า บริหารกล้ามเนื้อข้อเข่าให้มีความแข็งแรงด้วยวิธีการใช้ขาทั้ง 2 ข้างให้ขยับไปมาหรือการยืดเหยียดข้อเข่าเพื่อให้กล้ามเนื้อขาแข็งแรงจนสามารถช่วยพยุงข้อเข่าได้ ตลอดจนออกแบบให้มีขนาดสัดส่วนเหมาะสมกับผู้สูงอายุ มีประโยชน์ใช้สอยที่ตรงกับการใช้งานของผู้สูงอายุ เลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงและสามารถนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

4.3 สรุปผลการออกแบบ

เป็นผลจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของผู้สูงอายุ แนวคิดภูมิปัญญาแพทย์แผนไทย เพื่อบำบัดโรคข้อเข่าเสื่อมด้วยวิธีทางหัตถบำบัดเพื่อบำบัดรักษาโรคข้อเข่าเสื่อมโดยใช้วิธีการยืดกล้ามเนื้อข้อเข่าเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อขากระดูกโดยนำมาบูรณาการร่วมกับหลักการทางกายภาพด้วยวิธีการบริหารร่างกายในระบบกล้ามเนื้อและกระดูกแบบ Range of motion exercise และหลักการออกแบบที่คำนึงถึงรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ใช้สอย วัสดุและกรรมวิธีการผลิตในเชิงพาณิชย์ นำมาสรุปวิเคราะห์เพื่อทำการออกแบบอุปกรณ์ช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ข้อเข่าเสื่อม ภาพรวมของอุปกรณ์มีขนาด กว้าง 45 เซนติเมตรยาว 45 เซนติเมตรสูง 90 เซนติเมตร รูปแบบของอุปกรณ์ทำกายภาพในลักษณะท่านั่ง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นที่รองนั่งโดยใช้ไม้เป็นที่รองนั่ง มีอุปกรณ์ที่ใช้โยกทั้ง 2 ข้างโยกสลับไปมาโดยจะผ่านระบบกลไกที่ทำให้มีการโยกข้อเข่าทั้ง 2 สลับไปตามหลักการของการยืดกล้ามเนื้อ กระดูก ส่วนที่สองเป็นพนักพิงใช้ไม้เป็นที่รองเอียงทำมุม 105 องศาตามหลักการออกแบบพนักพิง ผลการออกแบบมีสอดคล้องกับ Chokkanchitcha (2022) กล่าวถึงวิธีบริหารผู้เป็นโรคข้อเข่าเสื่อม โดยให้นั่งบนเก้าอี้ โดยให้ข้อพับของข้อเข่าชิดกับขอบเก้าอี้ให้นั่งเหยียดข้อเข่าตรงกระดูกเท้าขึ้น และเกร็งกล้ามเนื้อขาเหยียดตรงค้างไว้โดยปฏิบัติซ้ำให้ได้ปริมาณวันละตั้งแต่ 100 ถึง 200

4.4 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพ

สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านกายภาพบำบัดมีประเด็นในการประเมินทางด้านการพัฒนาการที่การเดิน การยืนทรงตัวของผู้สูงอายุทั้งชายและหญิงที่มีช่วงอายุ 60 - 70 ปี ที่ป่วยเป็นโรคข้อเข่าเสื่อมในระดับที่ 2 โดยใช้เวลาในการทดลองเพื่อประเมินสัปดาห์ละ 3 วันคือ วันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ โดยใช้เวลาการทดลองวันละ 45 นาทีต่อคน ต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จากผลการประเมินพบว่าผู้สูงอายุคนที่ 1 คนที่ 3 คนที่ 4 คนที่ 7 คนที่ 9 คนที่ 10 คนที่ 11 คนที่ 14 และคนที่ 15 มีพัฒนาการที่ดีขึ้นตามลำดับ (อยู่ในระดับดี) สอดคล้องกับ พิศมัย คงสุริยศักดิ์ (2559) กล่าวถึงการยืนและเดินรวมทั้งลดแรงกระทำต่อข้อเข่าและสะโพกเพื่อป้องกันข้อเข่าหรือหลัง ในกรณีที่มามีการปวดข้อหรือหลังหรือการใช้ส้นเท้าช่วยให้ข้อเข่ากระชับ ลดอาการปวดข้อเข่าทำให้เดินได้ดีขึ้น จากผลการประเมินยังพบว่าผู้สูงอายุที่ยังมีพัฒนาไม่เท่าที่ควรได้แก่ คนที่ 2 คนที่ 5 คนที่ 6 คนที่ 7 คนที่ 8 คนที่ 12 และคนที่ 13 ยังไม่มีการพัฒนาการ (อยู่ในระดับปานกลาง) ทั้งนี้เป็นเพราะผู้สูงอายุที่ยังไม่มีพัฒนาการโรคแทรกซ้อน ทำให้ในการทดสอบเพื่อประเมินไม่เป็นไปตามเวลาที่กำหนด

5. เอกสารอ้างอิง

- Boonsinsuk, P. 2016. **Behavior of receiving Thai traditional medicine services.** Applied Thai Traditional Medicine Health. Center at Suan Sunandha Rajabhat University. (in Thai)
- Chanprasert, P. 2017. **Elderly, Self-Reliance, Office of Knowledge Creation and Management.** Bangkok: Department of Health, Ministry of Public Health. (in Thai)
- Chokkanchitchai, S. 2022. **Thai Traditional Medicine Practice Guidelines.** folk medicine and alternative medicine, health zone 3. (in Thai)
- Khiriakaw, P. 2018. **Guidelines for rehabilitation of stroke patients.** Rehabilitation Medicine Group San Kamphaeng Hospital. (in Thai)
- Kongsuriyasak, P. 2017. **Results of the exercise self-regulation program with the retro band method on blood sugar levels and physical fitness In the group of high-risk people with type 2 diabetes.** Faculty of Nursing, Burapha University. (in Thai)
- Onchom, D. 2013. **Belief in selection based on southern wisdom.** Faculty of Thai Traditional Medicine. Prince Songkla University. (in Thai)

- Petcharat, N. 2015. **Effects of a self-management program on daily activities and health quality of life in elderly with osteoarthritis.** Journal of Nursing, 29(2), 127-140 (in Thai)
- Poomsalud, S. 2017. **Effect of exercise with elastic on the ability of the elderly to balance.** National Symposium. Kasetsart University The 9th Kamphaeng Saen Campus. (in Thai)
- Rapiphong, R. 2013. **Exercise for the treatment of osteoarthritis of the knee.** Department of Rehabilitation, Medicine Faculty of Medicine, Chulalongkorn University. (in Thai)
- Rungfah, Y. 2019. **Industrial product design.** Faculty of Engineering and Architecture Rajamangala University of Technology Tawan-ok. (in Thai)
- Tanwattana, J. 2017. **Royal College of Rehabilitation Medicine of Thailand.** Journal of Rehabilitation Medicine (12), 32-42. (in Thai)
- Tanwattana, J. 2017. **Therapeutic exercise.** Department of Rehabilitation Medicine Faculty of Medicine Chiang Mai University. (in Thai)
- Weerasirirat, P. 2019. **The effect of physical therapy management in monks with osteoarthritis of the knee.** Full research report Research and Innovation Management Division, Burapha University. (in Thai)

(Received: 23/Jun/2022, Revised: 17/Jul/2022, Accepted: 22/Jul/2022)

ภาคผนวก

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นวารสารระดับชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กำหนดเผยแพร่วารสาร ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และกรกฎาคม - ธันวาคม)

1. บทควมวิจัย

ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. ชื่อผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. ที่อยู่หน่วยงาน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์
4. ตัวเลขยก ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ที่สามารถนำไปใช้สืบค้นในระบบฐานข้อมูล (Keyword ควรมีประมาณ 4 คำ)

ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

1. บทนำ (Introduction) เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย พร้อมวัตถุประสงค์และการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. วิธีการทดลอง (Materials and Methods) วิธีการศึกษา (Research Methodology) เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการวิจัยแต่ละประเภท
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion) ควรเสนอผลอย่างชัดเจน ตรงประเด็น เป็นผลที่ค้นพบ โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษา พร้อมการวิจารณ์ผล
4. สรุปผล (Conclusion) สรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) กล่าวถึงบุคคลหรือหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและมีความสำคัญจริง (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
6. เอกสารอ้างอิง (References) ต้องใช้ตามแบบที่วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก กำหนดอย่างเคร่งครัด และเขียนเอกสารอ้างอิง เฉพาะเอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อหาเท่านั้น
7. ความยาวของบทความไม่เกิน 10 หน้า

หมายเหตุ เรื่องที่จะส่งตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณาจากวารสารอื่น

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซม.
ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซม.
ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซม. ความสูง 27 ซม.
- กระดาษ

รูปแบบตัวอักษร

แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น

หมายเลขหน้า

ตำแหน่ง ด้านล่าง กึ่งกลางหน้ากระดาษ ขนาดตัวอักษร 14

การย่อหน้า

เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9

จำนวนหน้าทั้งหมด

6 - 10 หน้า

การพิมพ์ส่วนปก

พิมพ์เต็มหน้ากระดาษ (พิมพ์ 1 คอลัมน์)

การพิมพ์ส่วนเนื้อหา

พิมพ์ 1 คอลัมน์

ชื่อบทความ

ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ ขนาดอักษร 18 (ตัวหนา)

จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา)

ระหว่างชื่อกับนามสกุล เว้น 2 เคาะ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล

ขนาดตัวอักษร 16

(ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

ที่อยู่

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 12

(ใส่ตัวเลขยกบนหน้าที่อยู่ ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

E-mail และโทรศัพท์

ขนาดตัวอักษร 12 (ตัวเอียง)

ชื่อบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา)

จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

เนื้อหาบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

ชื่อคำสำคัญ (Keyword)

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา)

คำสำคัญ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

ชื่อหัวเรื่องใหญ่

ประกอบด้วย 1. บทนำ 2. วิธีการทดลอง หรือ วิธีการศึกษา

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลหรือผลการศึกษาและอภิปรายผล

4. สรุปผล 5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) 6. เอกสารอ้างอิง

ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

ชื่อหัวเรื่องรอง

ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

ชื่อหัวเรื่องย่อย

ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา) ย่อ 4 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 5

เนื้อหาบทความ

ขนาดตัวอักษร 14 จัดกระจายแบบไทย

ชื่อตาราง

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ด้านบนของตาราง จัดชิดซ้าย

ชื่อภาพ ชื่อแผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ใต้ภาพหรือแผนภูมิ จัดกึ่งกลาง

เนื้อหาในตาราง/แผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 12

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง

ใช้นามสกุลของผู้แต่งคนแรก แล้วตามด้วยปี (ค.ศ.) เช่น Jamsawat (2011) หรือ (Jamsawat, 2011) หรือ Dan and Hamasaki (2011) หรือ Jamsawat and Piempol (2016) กรณีผู้เขียนมีมากกว่า 2 คน ใช้ Dan *et al.* (2011) หรือ (Dan *et al.*, 2011) เป็นต้น

การอ้างอิงท้ายเรื่อง

1. หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. **ชื่อหนังสือ**. ครั้งที่พิมพ์. สำนักพิมพ์. เมืองที่พิมพ์.

2. บทความวารสาร

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. **ชื่อบทความ**. ชื่อวารสาร. ปีที่ (ฉบับที่): หน้าแรก - หน้าสุดท้ายของบทความ. (กรณีที่วารสารไม่ระบุฉบับที่ ก็ไม่ต้องใส่ฉบับที่)

โดยให้เรียงลำดับเอกสารอ้างอิงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของนามสกุลของผู้แต่งคนแรก ตามด้วยคำย่อชื่อและชื่อกลาง (ถ้ามี) ของผู้แต่ง กรณีเป็นหน่วยงานให้ใช้ชื่อเต็มหน่วยงาน ตามด้วยปีที่ตีพิมพ์ (การอ้างอิงจากวารสาร ให้ใช้ชื่อย่อของวารสาร) กรณีที่เป็นเอกสารอ้างอิงภาษาไทยใช้รูปแบบเดียวกัน ให้ปรับ (แปล) เป็นภาษาอังกฤษและต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยคำว่า (in Thai)

หมายเหตุ ต้นฉบับบทความที่น่าส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนตามที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร

*** ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง**

Barros, A.K.A., Nunes, G.H.S., Queiroz, M.A., Pereira, E.W.L. and J.H.C. Filho. 2011. **Diallel analysis of yield and quality traits of melon fruits**. Crop Breed Appl Biotechnol. 11: 313-319.

Lertrat, K. 1989. **Techniques in Hand Pollinating Vegetable Plants**. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Khonkaen University, Khonkaen. (in Thai)

Pornsuriya, P. 2005. **Genetic Studies and Inheritance of Fruit Characters in Slicing Melon (*Cucumis melo* L. var. *conomon* Makino)**. Ph.D. Thesis. Department of Horticulture, Kasetsart University, Bangkok.

Pornsuriya, P. 2014. **Biometrical Analysis in Plant Breeding**. O.S. Printing House, Bangkok. (in Thai)

Singh, P. and S.S. Narayanan. 2013. **Biometrical Techniques in Plant Breeding**. 5th ed. Kalyani Publishers, New Delhi.

Singh, R.K. and B.D. Chaudhary. 1985. **Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis**. 3rd ed. Kalyani Publishers, New Delhi.

Tindall H.D. 1983. **Vegetables in the Tropics**. The Macmillan Press LTD., London.

United States Department of Agriculture. 2007. ***Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.** <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?41646>. Accessed 10 Mar. 2007.

Vianna J.M.S. 2000. **The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis**. Genet. Mol. Biol. 23: 877-881.

ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารทดแทนเลียงโคให้นมในฤดูแล้ง
Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อบทความ
ขนาด 18 หนา

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หนา }
วีระพล แจ่มสวัสดิ์
Virapol Jamsawat

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี
Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra campus, Chonburi
E-mail: virapolj@yahoo.com โทร.086-3303057

ที่อยู่ ขนาด 12
E-mail และโทรศัพท์
ขนาด 12 ตัวเอียง

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract ขนาด 18 หนา { บทคัดย่อ

ผลจากการทดลองการให้ฟางข้าวหมักยูเรีย 6% เปลือกสับปะรดสดและหญ้าขนเป็นอาหารทดแทนเลียงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ ฟรีเซียน สายเลือดประมาณ 62.5% ที่กำลังให้น้ำนมโดยให้อาหารข้นมีโปรตีนรวม 16% ตามปริมาณการให้น้ำนมต่ออาหารข้น เท่ากับ 2 :1 และให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่เป็นเวลา 165 วัน

เนื้อหาบทคัดย่อ
ภาษาไทยและ
อังกฤษ ขนาด 14

Keywords: Roughage replacer, Milking cow. { ชื่อคำสำคัญ (Keyword) ขนาด 14 หนา

และ คำสำคัญ ขนาด 14 บง

ชื่อหัวข้อความ ขนาด 18 หนา

1. บทนำ { ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หนา

เคาะ 8 ตัวอักษร ในปัจจุบันการเลี้ยงโคนมของประเทศไทย ได้มีการส่งเสริมให้มีการขยายการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกๆ ปี ทั้งโคนมและโคนเนื้อ แต่จำนวนพื้นที่ทำการเกษตรกลับลดจำนวนลง โดยถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโค ซึ่งจำเป็นต้องใช้อาหารหยาบพวกหญ้าเป็นพืชอาหารสัตว์หลักสำหรับเลี้ยงโค จึงมีจำนวนพืชอาหารสัตว์และจำนวนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ลดลงเรื่อยๆ (วีระพล, 2557)

เนื้อหาบทความ
ขนาด 14

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอาหารข้น { ชื่อตาราง/ภาพที่/แผนภูมิที่ ขนาด 16 หนา

ขอบขวา
2.0 ซม.

วัตถุดิบ	จำนวน
รำละเอียด	45
กากมะพร้าว	30
กากถั่วลิสง	15
ปลาป่น	5
เกลือป่น	2
แร่ธาตุผสม (premix)	1
รวม	100

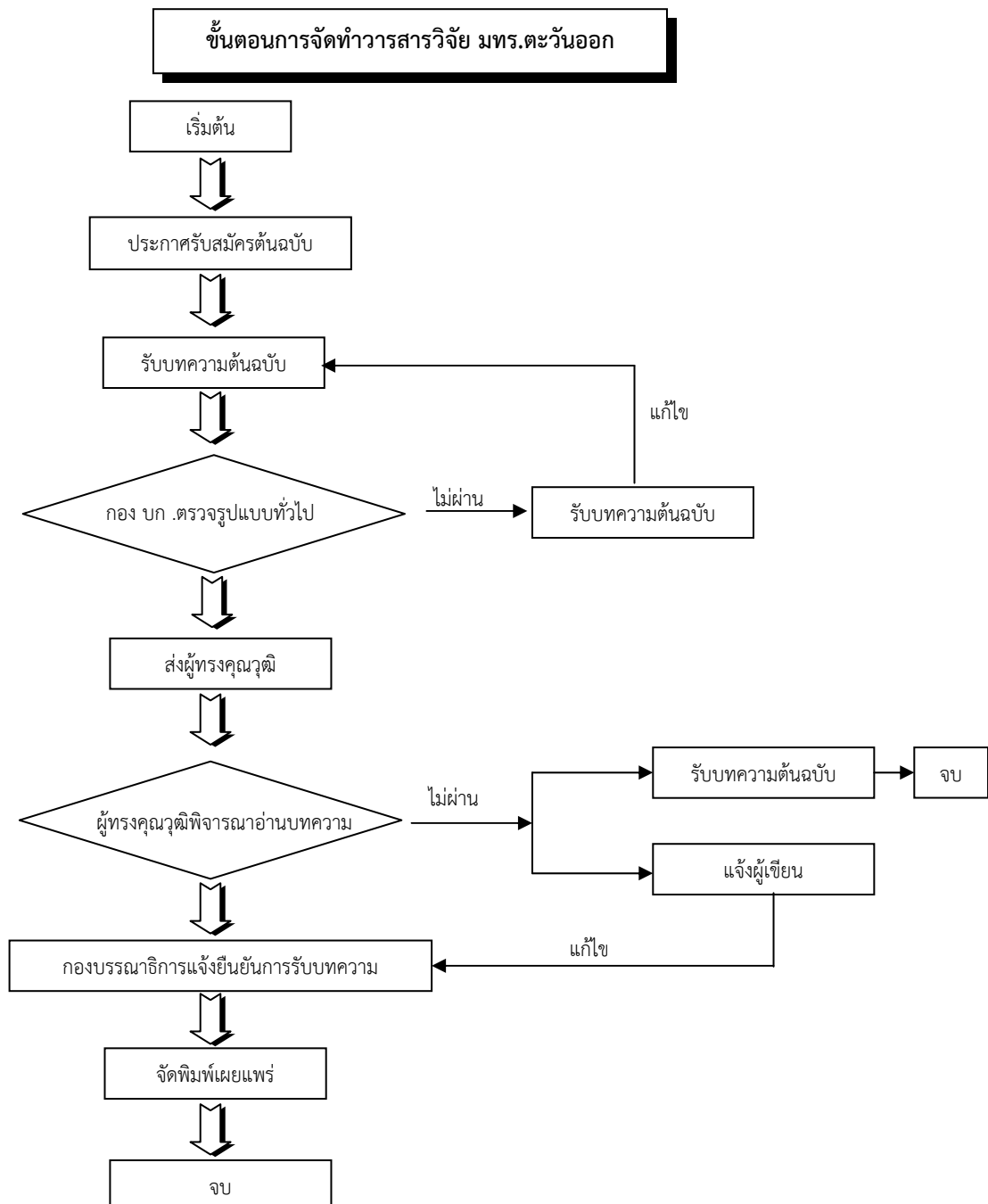
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

ขอบล่าง 2.0 ซม.

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณาจะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับที่นำบทความลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ





แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว
2. ระดับการศึกษาสูงสุด
 ตำแหน่งทางวิชาการ
3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย)
 (ภาษาอังกฤษ)
4. ชื่อผู้เขียนร่วม (1)
 (2)
 (3)
 (4)
 (5)
5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

 โทรศัพท์..... มือถือ.....แฟกซ์.....
 E-mail :

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ลงชื่อ.....
 (.....)

**แบบสรุปผลการประเมินบทความวิจัยของผู้ทรงคุณวุฒิ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**

1. รหัสบทความวิจัยที่ประเมิน R ☐ ☐ ☐ ☐

2. ชื่อบทความ.....

3. จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน..... ท่าน

4. หัวข้อที่พิจารณา

หัวข้อ	ผ่าน	ผ่านและมีการแก้ไข	ไม่ผ่าน	ข้อแก้ไข/ข้อเสนอแนะ
บทคัดย่อ (Abstract)				
บทนำ				
วิธีการทดลอง/วิธีการศึกษา				
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล / ผลการศึกษาและอภิปรายผล				
สรุปผล				
เอกสารอ้างอิง				
คุณค่าทางวิชาการ				

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

6. สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่านดีเยี่ยม ☐ ผ่าน ☐ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

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

โดย

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

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ปีที่ ฉบับที่

.....

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ตะวันออก

ให้ ณ วันที่.....

นโยบายการพิจารณาบทความ

1. วารสารรับพิจารณาบทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษภายใต้เงื่อนไขว่าจะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุมหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น / รวมทั้งจะไม่นำเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น ๆ อีกนับจากวันที่ได้ส่งบทความฉบับนี้มาที่กองบรรณาธิการวารสาร ทั้งนี้ทางวารสารไม่มีค่าธรรมเนียมใด ๆ ในการตีพิมพ์เผยแพร่
2. ขอบเขตของวารสาร จะรับบทความทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในทางด้าน (1) วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
3. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (peer Review) กระบวนการพิจารณากลั่นกรองบทความบทความที่จะได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องผ่านกระบวนการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องดังนี้
 - 3.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้แต่งทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้ว พร้อมตรวจสอบรูปแบบความถูกต้อง
 - 3.2 กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพงานวิชาการและประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ
 - 3.3 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นสมควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไปโดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อยจำนวน 2 ท่านประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double - blind peer review process)
 - 3.4 เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ เห็นควรอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์ได้ และจะส่งบทความนั้นไปให้ผู้แต่งได้แก้ไขตามข้อเสนอของผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นให้ผู้แต่งส่งกลับมาให้กองบรรณาธิการพิจารณาอีกครั้งหนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการตีพิมพ์

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

มทร.ตะวันออก สร้างงานวิจัย พัฒนาสังคม ชุมชน และประเทศ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

43 หมู่ 6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 0-3313-6099 ต่อ 1181-1187 โทรสาร/สายตรง 0-3835-8142

<http://ird.rmutto.ac.th>, <http://journal.rmutto.ac.th>