



วารสารวิจัยและพัฒนา
วลัยลักษณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal // ISSN 3027-7353 (Online)
Science and Technology

ปีที่ 19 ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน - เดือนธันวาคม 2567)

Volume 19 Number 3 (September - December 2024)



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีสารสนเทศ สู่นักวิจัย นักวิชาการและผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย เพื่อการพัฒนาพื้นที่ในระดับจังหวัด กลุ่มจังหวัด ตำบล หมู่บ้าน หรือชุมชน แก่นักวิจัย นักวิชาการและบุคคลทั่วไป ได้เสนองานผลงานวิจัยสู่สาธารณะ
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีสารสนเทศ รวมไปถึงประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน

เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์

กำหนดออกเผยแพร่

ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)

ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)

ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

คณะที่ปรึกษา

รศ.ดร.สมบัติ คชสิทธิ์

รศ.ดร.อรสา จรุงธรรม

ผศ.ดร.ภิกษุศักดิ์ กัลยาณมิตร

บรรณาธิการ

รศ.ดร.ปยุตน์ นิลแสง

รองบรรณาธิการ

ผศ.กุลชาติ พันธวรกุล

คณะผู้จัดทำวารสารและเผยแพร่

ผศ.ดร.วีระวัฒน์ อุ๋นแสนหา

อ.ดร.มนฤดี ช่างฉำ

นางนงลักษณ์ สมณะ

นางสาวปรีญา ยอดจันทร์

นายชูศักดิ์ ชันธชาติ

กองบรรณาธิการ

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 2. ศ.ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 3. รศ.ดร.ธีระชัย ธนานันต์ | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 4. รศ.ดร.สุทธิพันธุ์ แก้วสมพงษ์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 5. รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพ็ชร์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา |
| 6. รศ.ดร.ดวงใจ บุญกุศล | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี |
| 7. รศ.ดร.เจษฎา มิ่งฉาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์ 0 2909 3036
E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th
Website: <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/>

ข้อความและบทความในวารสารนี้
เป็นความคิดเห็นของผู้นิพนธ์โดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหา
และข้อคิดเห็นอื่นๆ แต่อย่างใด

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
VRU Research and Development Journal
Science and Technology

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สู่นักวิจัยและผู้สนใจทั่วไป และเพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน ซึ่งได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์อ้างอิงดัชนีวารสารไทย (TCI) โดยถูกจัดให้เป็น วารสารกลุ่มที่ 1 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีกำหนดออกเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – เดือนเมษายน) ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม) ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม) สำหรับนักวิจัยที่มีความประสงค์จะส่งต้นฉบับเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ สามารถส่งบทความวิจัยดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการได้โดยตรง ทั้งนี้บทความวิจัยที่เสนอขอตีพิมพ์จะต้องไม่เคยหรือได้อยู่ในระหว่างขอเสนอลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ซึ่งบทความวิจัยดังกล่าวจะต้องได้รับการอ่านและประเมินคุณภาพพร้อมได้รับความเห็นชอบให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชานั้น ๆ ที่มาจากหลากหลายสถาบัน ของวารสารวิจัยและพัฒนาฯ จำนวน 3 ท่านก่อนลงตีพิมพ์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อผู้นิพนธ์ และผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Double-blinded Review) บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษรหรือมีการอ้างอิงอย่างถูกต้องชัดเจน โดยเนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ เป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์บทความวิจัยเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

ปัจจุบันวารสารวิจัยและพัฒนาฯ ปีที่ 19 ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม) ฉบับนี้ ได้รวบรวมบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 12 เรื่อง เผยแพร่ผ่าน 2 ช่องทาง ได้แก่ เว็บไซต์ <http://rd.vru.ac.th> และเว็บไซต์ <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/>

สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและส่งผลงานบทความวิจัยเข้าร่วมลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ อย่างดีตลอดมา

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
การพัฒนาเจลลดปวดเข้าตำรับสมุนไพรป่าป้อสำหรับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม	1
ชนิดา ประดิษฐ์สถาพร มารุต แก้ววงศ์ ศิรายุทธ พัฒนโสภณ	
การปรับปรุงเส้นโค้งควบคุมของระบบอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิคการค้นหาแบบทาบ	15
และเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนด้วยลม	
นิวัตร ภูมิพันธ์ บรรณัญติ ปริบูรณ์ สุวภัทร โกษาแสง	
ความรู้ ความเชื่อด้านสุขภาพ และพฤติกรรมการป้องกันโรคไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019	30
ของประชาชนในอำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
อัมมันดา ไชยกาญจน์ ธนัฎดา สุขแสงประสิทธิ์ อมรา ไชยกาญจน์ ปฏิภาณี ชันธโกศ	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโปรไบโอติกจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวก่ำผสมธัญพืช	46
รัตนภัทร มะโนชัย นภาพันธ์ โชคอำนวยพร กาญจนา รัตนธีรวิเชียร	
ณัฐมา เหล่ากุลติลล	
ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM2.5 จำแนกตาม	62
ฤดูกาล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	
สุจารี คำศรี นฤมล ต๊ะใจ	
การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่ จังหวัดปทุมธานี	76
ภาคภูมิ อุณหเลขจิตกร เจริญชัย อึ้งเจริญสุข อัษฎาวุฒิ โยธาสุภาพ วัฒนา ชยธวัช	
ผลของดินผสมจากผักตบชวาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุ้งจีน	91
สิริวรรณ สมทิธอาภรณ์ ภารดี แซ่อึ้ง ขวัญเรือน บุญพร ยุพาภรณ์ วิริยะนานนท์	
การใช้ประโยชน์จากเปลือกส้มโอสีชาวทดแทนเนื้อส้มบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม	105
เขาวลิต อุปลุกา เปรมระพี อูยามาวีระหิรัญ สุมภา เทิดขวัญชัย ปรีศนีย์ ทับใบแยม	
โภชนาการ สารพฤกษเคมีเบื้องต้น และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเห็ดนางรมสีทองและ	121
เห็ดนางรมสีชมพู	
บุษกร อุยวงษ์ ศิริพร จอมแก้ว ศิรินทิพย์ สังคร	
การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมดีเอ็นเอเพื่อตรวจหายีน hemolysin ของแบคทีเรีย	135
Aeromonas hydrophila ที่ก่อโรคในปลานิล	
บุณทริกา ทองดอนพุ่ม กิตติมา วานิชกุล อดุลย์ บุญเฉลิมชัย สมพล แพรพันธ์	
ผลของสารสกัดหยาบจากหางไหลต่อควบคุมหนอนกระทู้ผัก	147
วิษชุดา มั่นจิตร ณพัธอร บัวฉุน	
ผลของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ชนิดบรรจุภัณฑ์ และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อคุณภาพ	162
หลังการเก็บเกี่ยวของผักน้าเบตง	
ณัฐพงศ์ จันจุฬา ภาสุรี ฤทธิเลิศ	

การพัฒนาเจลลดปวดเข้าตำรับสมุนไพรรักษาผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม

ชนิดา ประดิษฐ์สถาพร¹ มารุต แก้ววงศ์^{2*} ศิรายุทธ พัฒนโสภณ³

Received : September 27, 2023

Revised : June 27, 2024

Accepted : August 8, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนา เพื่อการพัฒนาเจลลดปวดเข้าตำรับสมุนไพรรักษาผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม ซึ่งถูกพัฒนามาจากผงพอกเข้าที่ผู้บริโภคมุ่งหวังพอใจต่อกลิ่น เนื้อสัมผัสและบรรจุภัณฑ์ ขั้นตอนการพัฒนาเจลประกอบด้วย 4 ขั้นตอนได้แก่ 1) ศึกษาสารประกอบรวมฟีนอล (Total Phenolic Compound) ของสมุนไพรรักษาแต่ละชนิดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Method และศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรรักษาและสมุนไพรรักษาเดี่ยวแต่ละชนิด โดยวิธี DPPH Assay 2) พัฒนาเจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรรักษา 3) ทดสอบการออกฤทธิ์ของเจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรรักษาผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมในตำบลดงเจน จังหวัดพะเยา จำนวน 120 คน และ 4) ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่วิสาหกิจชุมชนโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพชุมชนตำบลดงเจน จำนวน 20 คน

ผลการศึกษา พบว่า ตำรับสมุนไพรรักษาผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี ลดปวดและลดอักเสบ รวมทั้งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลดปวดเจลสมุนไพรรักษาลดปวดเข้า ถูกพัฒนามาจากผงพอกเข้าสูตรรักษา โดยนำสมุนไพรรักษา 20 โดยน้ำหนัก มาทำเป็นรูปแบบเจล เนื่องจากมีลักษณะเนื้อเจลใส สีน้ำตาล มีความหนืดพอดี ไม่แฉกชั้น มีค่า pH เฉลี่ย 6.5 เมื่อทำการทดสอบอาการระคายเคืองในอาสาสมัคร พบว่า อาสาสมัครทั้งหมด ไม่พบอาการระคายเคือง นอกจากนี้ร้อยละ 100.0 ของอาสาสมัครพึงพอใจต่อเจลสมุนไพรรักษาที่มากที่สุด ผลการวิจัยในครั้งนี้นำไปสู่การพัฒนาวิสาหกิจเพื่อเพิ่มรายได้ สืบสานภูมิปัญญาท้องถิ่น และนำไปสู่การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเน้นให้ วิสาหกิจชุมชนปรับปรุงบรรจุภัณฑ์เพื่อสะดวกต่อการพกพาของผู้บริโภค และเป็นที่น่าดึงดูดต่อการใช้งาน

สำคัญ: การวิจัยและพัฒนา เจล โรคข้อเข่าเสื่อม ลดปวด สมุนไพรรักษา

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หลักสูตรพยาบาลศาสตร์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อีเมล: chanitapr@nu.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หลักสูตรสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา อีเมล: maroot.ka@up.ac.th

³ อาจารย์หลักสูตรบริหารเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา อีเมล: sirayuth.pa@up.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: maroot.ka@up.ac.th

DEVELOPMENT OF A KNEE PAIN RELIEF GEL USING AUNT PO'S HERBAL FORMULATION FOR PATIENTS WITH KNEE OSTEOARTHRITIS

Chanita Praditsathaporn¹ Maroot Kaewwong^{2*} Sirayut Pattanasophon³

Abstract

This study involves research and development aimed at enhancing a herbal knee pain relief gel, "Aunt Por," specifically for patients suffering from osteoarthritis. The initiative arises from consumer dissatisfaction with the odor, texture, and packaging of existing knee-mask powder products. The development process consists of four stages: 1) Investigating the total phenolic compound content in various herbs using the Folin-Ciocalteu method and assessing their antioxidant properties through the DPPH assay; 2) formulating a knee pain relief gel based on the Aunt Por herbal recipe; 3) testing the efficacy of this newly developed gel on 120 osteoarthritis patients in Dong Jen sub-district, Phayao province; and 4) transferring this technology to 20 individuals involved in a community enterprise at a local health promotion hospital in Dong Jen.

The study found that Aunt Por's knee pain relief mask powder for osteoarthritis patients exhibited excellent free radical scavenging activity, reduced pain and inflammation, and possessed antimicrobial activity. These attributes made it suitable for development into a knee pain relief product. The herbal knee pain relief gel was developed from the Aunt Por knee pain relief mask powder. A 20% w/w water extract of herbs was used to create the gel. The gel had a clear texture, brown color, moderate viscosity, no layer separation, and an average pH of 6.5. During the assessment of adverse reactions in the study volunteers, it was observed that none of the volunteers experienced any irritation. Furthermore, all volunteers expressed high satisfaction with this herbal gel product for knee pain relief. The findings of this research contributed to the enhancement of community enterprises by increasing revenue, preserving indigenous knowledge, and facilitating the transfer of technology to community enterprise members. Emphasis is placed on improving packaging for consumer convenience and attractiveness, thereby promoting usability.

Keywords: Research and development, Gel, Osteoarthritis, Pain relief, Herb

¹ Associate Prof. Dr., Nursing Program, Faculty of Nursing Narasuan University, e-mail: chanitapr@nu.ac.th

² Associate Prof. Dr., Physiology Program, Faculty of Medical Science, University of Phayao, e-mail: maroot.ka@up.ac.th

³ Lecturer, Pharmaceutical care, Faculty of Pharmacy, University of Phayao, e-mail: sirayuth.pa@up.ac.th

* Corresponding author, e-mail: maroot.ka@up.ac.th

บทนำ

ข้อเข่าเสื่อม (Knee Osteoarthritis: OA) เป็นปัญหาที่คนทั่วโลก 528 ล้านคนเผชิญอยู่ สอดคล้องกับความชุกของโรคข้อเข่าเสื่อมเพิ่มขึ้นถึง 113 % จาก 247.51 ล้านคนในปี 2533 เป็น 527.81 ล้านคนในปี 2562 โดยร้อยละ 73.0 ของผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมมีอายุ 55 ปีขึ้นไป ส่วนใหญ่พบข้อเข่าเสื่อมบริเวณเข่า สะโพกและข้อต่อ (Long et.al, 2022) โรคข้อเข่าเสื่อมมีความสัมพันธ์กับอายุที่เพิ่มขึ้น พบว่า อายุ 40-60 ปีเป็นช่วงวัยที่ความชุกของโรคสูงถึง 645.1 ล้านคน (Cui et al., 2020) สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2561 พบโรคข้อเข่าเสื่อมจำนวน 6 ล้านคนและปัญหาข้อเข่าเสื่อมเป็นปัญหาสุขภาพลำดับที่ 2 ของคนไทยคิดเป็นร้อยละ 67.4 (กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2561) อาการของโรคข้อเข่าเสื่อม ได้แก่ ปวดข้อ ปวดเรื้อรัง ปวดมากขึ้นเมื่อใช้งานหรือเคลื่อนไหว ข้อพับตึง ผิด เดินไม่สะดวก มีเสียงกรอบแกรบขณะเคลื่อนไหว ทำกิจวัตรประจำวันได้ลดลง การผิดรูปของข้อส่งผลให้ทั้งผู้ป่วยอื่น การรักษาส่วนใหญ่ใช้ยาต้านการอักเสบกลุ่ม nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) (Steinmeyer et al, 2018) ผลข้างเคียงของยาในกลุ่มดังกล่าวก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อนได้แก่ โรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ โรคหัวใจและหลอดเลือด เลือดออกในสมอง ไตวายเฉียบพลัน ไตวายเรื้อรัง ความดันโลหิตสูง เกิดพิษต่อตับ ทางเดินหายใจอักเสบและติดเชื้อ (Bindua et al, 2020) ทำให้สมุนไพรถูกนำมาทดแทนยาแก้ปวดกลุ่มดังกล่าว

ยาพอกเข่าสูตรป่าป้อ ประกอบด้วยหญ้าเอ็นยัด บอระเพ็ด พลับพลึง รางจืดและฮ่อมเกี่ยว ซึ่งมีฤทธิ์ดังนี้ หญ้าเอ็นยัดหรือฝักกาดน้ำ มีฤทธิ์ลดอาการอักเสบ ด้านสารอนุมูลอิสระ (นิภาพร ปัญญา และดวงฤทัย นิคมรัฐ, 2564) บอระเพ็ดเพิ่มภูมิคุ้มกัน (Ahmad et al, 2020) ใบพลับพลึง เมื่อนำมาเผามีฤทธิ์ลดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้ออักเสบ คลายเส้น (ธีรยุทธ เกษมาลี และสินีนานู ชาวตระกูล, 2561) และลดปวดจากโรครูมาตอย (Sharma, 2020) รางจืด ใช้แก้ปวด (มะลิวัลย์ บริคุต และอังคณา อินตา, 2562) และฮ่อมเกี่ยวมีฤทธิ์แก้ปวดเมื่อยและมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง (กรกนก เอกโยธินวงศ์ และคณะ, 2561) ซึ่งการศึกษาของรติรัตน์ ทรัพย์อ่อน (2565) พบว่า ยาสมุนไพรพอกเข่าสูตรอื่นมีประสิทธิภาพในการลดปวดได้ดีกว่ายาทาแก้ปวดไดโคลฟีแนค (Diclofenac) ซึ่งเป็นยาแก้ปวดในกลุ่มยาต้านการอักเสบ NSAIDs เช่นเดียวกับยาพอกเข่าสูตรอื่นที่นิยมนำมาลดอาการปวดและเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวของเข่า (บุษบา ยินดีสุข และคณะ, 2564)

อำเภอภูพานยาว เป็นชุมชนที่มีความโดดเด่นด้านการแพทย์พื้นบ้าน มีชมรมหมอเมืองในนามศูนย์ฮ่อมฮักห้วยแก้ว มีตำราที่รวบรวมสูตรยารักษาโรค ยาสมุนไพรที่บันทึกลงบนสมุดโบราณและกระดาษสาที่คนล้านนาเรียกว่า “ป๊อบสา” จำนวนมากถึง 119 เล่ม และในปีพ.ศ. 2561 พบหมอเมือง (หมอพื้นบ้าน) ตำบลห้วยแก้วจำนวน 42 คน (จักรแก้ว นามเมือง และ มงคลกิตต์ โวหารเสาวภาคย์, 2562) แต่ในปี พ.ศ. 2564 พบว่าหมอเมืองเหลืออยู่เพียง 3 คน ซึ่งป่าป้อ ถาอินทร์เป็น 1 ใน 3 คนและเป็นเจ้าของตำรับสมุนไพรลดปวดข้อปวดเข่าในรูปผงพอกเข่า ตำรับยานี้เป็นมรดกตกทอดจากบรรพบุรุษสู่ป่าป้อด้วยวิธีการบอกเล่าและฝึกปฏิบัติ ซึ่งส่งผลให้ตำรับยาขาดการพิสูจน์และตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์เช่นเดียวกับยาพอกเข่าสูตรอื่น (พิมพ์ทรัพย์ พิมพ์สุทธิ, 2561) และด้วยเหตุที่ขั้นตอนการทำยุ่งยาก ใช้เวลานาน ขาดการ ทำให้ลูกหลานในครอบครัวป่าป้อไม่ยอมสืบทอดต่อ ป่าป้อเจ้าของตำรับมีความประสงค์จะได้รับการตรวจทางวิทยาศาสตร์เพื่อพิสูจน์สรรพคุณตำรับยา ประกอบกับการสำรวจเบื้องต้นจากผู้เชี่ยวชาญป่าป้อจำนวน 60 รายของผู้วิจัย ผลพบว่า

ผู้ขายยาพอกเข้ารู้สึกว่าการปวดเขาลดลงได้เป็นอย่างดีแต่ขณะพอกเข้ากลิ่นของยาพอกเหม็นเหมือนกลิ่นซีโคลน ผู้ใช้รู้สึกเหนอะหนะไม่สามารถลุกไปทำกิจกรรมอื่นได้ นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์บรรจุในขวดแก้วค่อนข้างหนัก ไม่สะดวกพกพา

ดังนั้นผู้วิจัยในฐานะบุคลากรสุขภาพจึงเห็นว่า ตำรับยาสมุนไพรป่าป้อ มีความเสี่ยงที่จะสูญหายไปกับเจ้าของตำรับ หากตำรับดังกล่าวได้รับการพัฒนาในรูปแบบผลิตภัณฑ์ ตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ จะเกิดประโยชน์กับผู้ที่มีปัญหาปวดข้อปวดเข่าที่มีจำนวนมากตามเจตนารมณ์ของเจ้าของตำรับ อาศัยการมีส่วนร่วมและความเข้มแข็งของชุมชนนำไปสู่การรวมกลุ่มของคนรุ่นใหม่เป็นวิสาหกิจชุมชน เกิดการเพิ่มรายได้ของวิสาหกิจชุมชนและสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเจลลดปวดเข่าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อสำหรับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม อำเภอภูพาน จังหวัดพะเยา
2. เพื่อศึกษาการออกฤทธิ์ของเจลลดปวดเข่าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อสำหรับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม อำเภอภูพาน จังหวัดพะเยา

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (วารุ เพ็งสวัสดิ์, 2552) ได้แก่ 1) สำรวจ ปัญหาและความต้องการ รวมทั้งศึกษาสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรตำรับป่าป้อเพื่อประเมินความเหมาะสมในการพัฒนา 2) พัฒนาเจลลดปวดเข่าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อ 3) ทดสอบการออกฤทธิ์ของเจลลดปวดเข่าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อ และ 4) ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่วิสาหกิจชุมชน

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจ ปัญหาและความต้องการ รวมทั้งศึกษาสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรตำรับป่าป้อ ผู้วิจัยดำเนินการ ดังนี้

1.1 **สำรวจ ปัญหาและความต้องการ** สถานการณ์ปัญหาโรคระบบกล้ามเนื้อกระดูกของจังหวัดพะเยา ปีงบประมาณ 2565 มีอัตราป่วย 115.00 ต่อแสนประชากร อัตราตาย 4.80 ต่อแสนประชากร เฉพาะตำบลเงิน ปีงบประมาณ 2563-2565 มีผู้ป่วยโรคข้อเข่าและกล้ามเนื้อ จำนวน 438, 649 และ 631 คน ปีพ.ศ. 2562 ป่าป้อ เริ่มผลิตยาพอกเข้าเพื่อช่วยบรรเทาอาการปวดของผู้ปวดเข่า มีการจำหน่ายในงานประชุมหรืองานแสดงนิทรรศการของหน่วยบริการสุขภาพในจังหวัดพะเยาอย่างแพร่หลาย

ป่าป้อเจ้าของตำรับมีความประสงค์จะได้รับการตรวจทางวิทยาศาสตร์เพื่อพิสูจน์สรรพคุณตำรับยา ประกอบกับการสำรวจเบื้องต้นจากผู้ขายยาพอกเข้าตำรับป่าป้อจำนวน 60 รายของผู้วิจัย พบว่า ผู้ขายยาพอกเข้ารู้สึกว่าการปวดเขาลดลงได้เป็นอย่างดีแต่ขณะพอกเข้ากลิ่นของยาพอกเหม็นเหมือนกลิ่นซีโคลน ผู้ใช้รู้สึกเหนอะหนะไม่สามารถลุกไปทำกิจกรรมอื่นได้ นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์บรรจุในขวดแก้ว ค่อนข้างหนัก ไม่สะดวกพกพา

1.2 ศึกษาสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรตำรับป่าป้อเพื่อประเมินความเหมาะสมในการพัฒนา ดังนี้

1. ทำการศึกษาส่วนประกอบของสมุนไพรตำรับป่าป้อ และทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับสมุนไพรแต่ละชนิดในตำรับ
2. นำสมุนไพรตำรับ และสมุนไพรแต่ละชนิด น้ำหนัก 100 กรัม ต้มในน้ำเดือด 250 ml เป็นเวลา 90 นาที ได้สารสกัดสมุนไพรตำรับ
3. นำน้ำสมุนไพรที่ได้ ไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยแห้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์
4. ศึกษาปริมาณสารประกอบรวมฟีนอล (Total Phenolic Compound) ของสมุนไพรตำรับ และสมุนไพรเดี่ยวแต่ละชนิด โดยวิธี Folin-Ciocalteu Method เทียบกับสารมาตรฐาน gallic acid ที่ความยาวคลื่น 765 nm
5. ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรตำรับ และสมุนไพรเดี่ยวแต่ละชนิด โดยวิธี DPPH Assay เทียบกับสารมาตรฐาน Ascorbic acid ที่ความยาวคลื่น 515 nm เพื่อหาค่า IC_{50} ของสารออกฤทธิ์ในสมุนไพรตำรับและสมุนไพรเดี่ยว

ขั้นตอนที่ 2 พัฒนาเจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อ ขั้นตอนนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลต้นแบบในห้องปฏิบัติการ โดยมีวิธีการดังนี้

1. ชั่งสารสกัดสมุนไพร ประกอบด้วยหญ้าเอ็นยีดี บอระเพ็ด พลับพลึง รวงจืดและฮ่อมเกี่ยว ซึ่งสรรพคุณของหญ้าเอ็นยีดีมีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ ช่วยลดการอักเสบ บอระเพ็ดช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน พลับพลึงลดปวด คลายกล้ามเนื้อ รวงจืดมีสารต้านอนุมูลอิสระ และฮ่อมเกี่ยวมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ลดปวดและยับยั้งเชื้อโรค ผสมกับน้ำกลั่นตามสูตรตำรับ
2. ชั่ง Disodium edetate ขนาด 0.1 กรัม แล้วนำมาละลายในสารละลายข้อ 1 ซ้ำ ๆ จนละลายหมด
3. ชั่ง Trolamine salicylate ขนาด 10 กรัม แล้วนำมาละลายในสารละลายข้อ 2 ซ้ำ ๆ จนละลายหมด
4. ชั่ง Carbopol 940 ขนาด 0.7 กรัม ค่อย ๆ โปรงลงไปในสารละลายส่วน A คนจนพองตัวหมด โดยค่อย ๆ คนแล้วตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้ฟองอากาศเล็ก ๆ ลอยขึ้นมาหมด
5. ชั่งและละลาย Germaben II ใน Propylene glycol เพื่อเตรียมสารละลายส่วน C
6. เทสารละลายส่วน C ลงในสารละลายข้อ 4 ซ้ำ ๆ พร้อมกับคนให้เข้ากัน จากนั้นค่อย ๆ หยด triethanolamine ลงไป จนได้ค่า pH 6 (5.5-6.5) พร้อมคนซ้ำ ๆ จะได้เจลที่หนืดขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบการออกฤทธิ์ของเจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อ

กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครในพื้นที่ตำบลดงเจน จำนวน 90 คน แบ่งเป็นผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมตามความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อม 4 ระยะ (สุวรรณี สร้อยสงค์ และคณะ, 2562) ได้แก่ ระยะเริ่มต้น ระยะเสื่อมเล็กน้อย ระยะเสื่อมปานกลางและระยะเสื่อมรุนแรง ในงานวิจัยนี้เก็บข้อมูลจากผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมจำนวน 90 คนแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะเสื่อมเล็กน้อย จำนวน 30 คน ระยะเสื่อมปานกลาง จำนวน 30 คนและระยะเสื่อมรุนแรงจำนวน 30 คน เนื่องจากผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมระยะแรกมีจำนวนน้อย การคัดเลือกอาสาสมัครเป็นแบบเจาะจง (Purposive sampling) ผ่านโปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ ติดประกาศ ณ. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ

ตำบลดงเจน อำเภอกุภามายาวและโรงพยาบาลชุมชนกุภามายาว ระยะเวลาดำเนินการวิจัย กุมภาพันธ์ 2564 - มกราคม 2565 เฉพาะเวลาทดสอบการออกฤทธิ์ 6 สัปดาห์ โดยเกณฑ์การคัดเลือก ดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือกเข้า

1. มีอายุระหว่าง 40 ปีขึ้นไปทั้งเพศชายและหญิงที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าป่วยเป็นโรคข้อเข่าเสื่อม ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของโรงพยาบาลชุมชนกุภามายาวและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลดงเจน จังหวัดพะเยาเป็นเวลา 1 ปีขึ้นไป

2. ได้รับการประเมินเป็นข้อเข่าเสื่อมระยะแรกและระยะปานกลางจากแบบประเมินระดับความรุนแรงของข้อเข่าเสื่อม (Oxford Knee Scores) ซึ่งพัฒนาโดยกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2556)

3. ยินดีรับการใช้จ่ายสมุนไพร/อาหารเสริม/ยา เพื่อลดอาการปวดเข่าระหว่างร่วมกิจกรรม
เกณฑ์การคัดออก

1. ได้รับการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าหรือตามหลักเกี่ยวกับข้อเข่าในระยะเวลา 1 ปี

2. มีแผลเปิด/แผลอักเสบ/บวม/มีน้ำในข้อเข่า

3. ไม่มีประวัติแพ้ยา และไม่มี ความผิดปกติของผิวหนังบริเวณท้องแขนด้านใน

เกณฑ์การถอนอาสาสมัคร คือ มีอาการแพ้ ผื่นคัน แสบหน้าอก หายใจไม่ออก ขณะร่วมกิจกรรม

การทดสอบผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและการคงตัวของผลิตภัณฑ์ 2) การทดสอบการระคายเคืองเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ 3) การประเมินความเจ็บปวดและ 4) การประเมินความพึงพอใจ

1. การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและการคงตัวของผลิตภัณฑ์ ดำเนินการดังนี้

1.1. ประเมินความคงตัวทางกายภาพ โดยสังเกตลักษณะเนื้อเจล การแยกชั้น การตกตะกอน กลิ่น ทดสอบความเป็นกรดด่างโดยใช้ pH meter และทดสอบความหนืดโดยเครื่องวัดความหนืด สี ความสามารถในการล้างน้ำออกได้ง่าย เมื่อเตรียมเสร็จใหม่ๆ และเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

1.2 การประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะเร่ง โดยทำ Heating-cooling จำนวน 3 รอบ โดยนำผลิตภัณฑ์เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงคิดเป็น 1 รอบ จากนั้นประเมินลักษณะทางกายภาพ เช่น ลักษณะเนื้อเจล pH ความหนืด สี เป็นต้น

2. การทดสอบการระคายเคืองเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดนี้

2.1. คัดเลือกอาสาสมัครที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์โรงพยาบาลกุภามายาวจำนวน 90 คน ที่ไม่มีประวัติแพ้ยา และไม่มี ความผิดปกติของผิวหนังบริเวณท้องแขนด้านใน

2.2 เช็ดผิวหนังบริเวณท้องแขนด้านในด้วยน้ำสะอาดรองจนแห้ง

2.3 ทาเจลที่ต้องการทดสอบบริเวณท้องแขนด้านใน ให้ได้พื้นที่ประมาณ 4x4 ตร.ซม. โดยสารที่ใช้ทดสอบได้แก่ เจลเบส และตำรับป่าป้อ

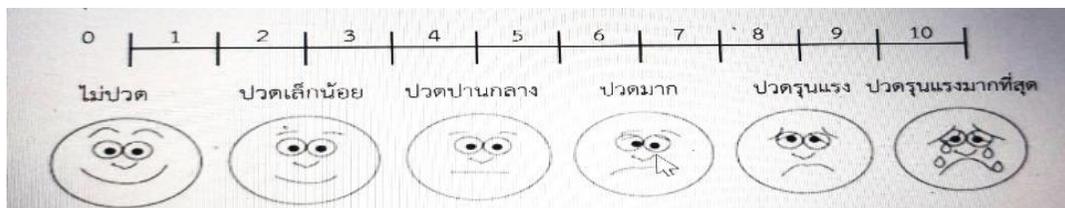
2.4 ทาทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ล้างออกด้วยน้ำสะอาด รอให้แห้ง และ

2.5 อ่านและบันทึกผลลงตาราง โดยมีเกณฑ์การประเมินผล ดังนี้

เกณฑ์การประเมินผล

คะแนน	การเปลี่ยนแปลงของผิวหนัง
0	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของผิวหนัง (ผิวหนังปกติ)
1	ผิวหนังแดงเล็กน้อย
2	ผิวหนังแดงปานกลางอาจมีการบวมที่ขอบ และอาจปรากฏตุ่มนูน
3	ผิวหนังแดงปานกลาง มีตุ่มบวมนูน
4	ผิวแดงมาก มีตุ่มบวมนูนรุนแรง และอาจพบตุ่มน้ำใส
5	มีปฏิกิริยาการแพ้อย่างรุนแรงลามออกไปรอบนอกบริเวณทดสอบ

3. การประเมินความเจ็บปวด การประเมินความเจ็บปวดด้วยมาตรวัดแบบเฟเชียลสเกล (Facial scale) เป็นการใช้อุปกรณ์แสดงสีหน้าความเจ็บปวดแบบมิติเดียว เริ่มตั้งแต่ไม่ปวดแทนสีหน้ายิ้มแ้มมีความสุข ปวดพอทนแทนด้วยสีหน้าขมดคิ้ว จนถึงปวดมากที่สุดแทนด้วยใบหน้าที่มีน้ำตาไหล ใช้ร่วมกับการใช้ Visual Rating scale เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ โดยให้ผู้สูงอายุดูรูปภาพและชี้ภาพหน้าที่ตรงกับความรู้สึก การวิเคราะห์ข้อมูลความเจ็บปวดในครั้งนี้ใช้สถิติ Pair T-Test



ภาพที่ 1 การประเมินความเจ็บปวด

4. การประเมินความพึงพอใจ

แบบประเมินความพึงพอใจ ผู้วิจัยพัฒนาจากงานวิจัยของรุ่งนภา จันทรา และคณะ (2564) แบ่งออกเป็น ด้าน ได้แก่ ด้านคุณภาพสินค้า ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านการระคายเคืองและการลดปวด ด้านบรรจุภัณฑ์และราคา จำนวน 10 ข้อ ลักษณะแบบประเมินเป็นลิเกตสเกล (Likert scale) 5 ระดับ โดยมีระดับความพึงพอใจดังนี้

คะแนน	ความพึงพอใจ
1	พึงพอใจน้อยที่สุด
2	พึงพอใจน้อย
3	พึงพอใจปานกลาง
4	พึงพอใจมาก
5	พึงพอใจมากที่สุด

คุณภาพเครื่องมือ ผ่านการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 คน ค่าความเที่ยงของเครื่องมือโดยใช้ IOC เท่ากับ 0.82 สำหรับเกณฑ์ประเมินความพึงพอใจแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง ความพึงพอใจน้อยสุด

คะแนนเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง ความพึงพอใจระดับน้อย

คะแนนเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง ความพึงพอใจระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง ความพึงพอใจระดับมาก

คะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง ความพึงพอใจระดับมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่วิสาหกิจชุมชน

วิสาหกิจชุมชนเครือข่ายสมุนไพรโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลจางเงิน เลขทะเบียน 6-56-09-02/1-0129 ได้ถูกจัดตั้งขึ้นภายใต้เจตนารมณ์ของเจ้าของตำรับเพื่อส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่นให้เกิดการสร้างรายได้ ที่มีรูปแบบการบริหารจัดการด้วยคนในท้องถิ่น พึ่งพาตนเองได้ สร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจำนวน 20 คนได้รับการถ่ายทอดการพัฒนาเจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อ โดยผู้วิจัยชี้แจงรายการอุปกรณ์ จัดเตรียมอุปกรณ์และจัดทำฉลากผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง สาธิตการทำเจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อและให้สมาชิกกลุ่มสาธิตย้อนกลับและอภิปรายฉลากผลิตภัณฑ์

การพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

การวิจัยเรื่องนี้ได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากมหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่ 1.2/018/2563 ลงวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2564 ก่อนที่กลุ่มตัวอย่างจะตัดสินใจเข้าร่วมโครงการวิจัย กลุ่มตัวอย่างจะได้รับทราบข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับชื่อเรื่องการวิจัย วัตถุประสงค์ วิธีดำเนินการวิจัย สิทธิประโยชน์ที่จะได้รับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น และชี้แจงข้อมูลในเอกสารใบยินยอม (Informed consent form) และให้ช้คำถามข้อสงสัยก่อนผู้ป่วยตัดสินใจเซ็นใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัยอย่างอิสระ ข้อมูลทุกอย่างที่ได้จะถูกเก็บไว้เป็นความลับ ไม่มีการเปิดเผยต่อบุคคล เก็บไว้ในที่ปลอดภัย และจะทำลายเมื่อการดำเนินการวิจัยแล้วเสร็จ กลุ่มตัวอย่างสามารถถอนตัวออกจากโครงการศึกษาวิจัยได้ตลอดเวลา โดยไม่จำเป็นต้องบอกเหตุผลและไม่มีผลต่อการดูแลรักษาพยาบาลที่ได้รับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

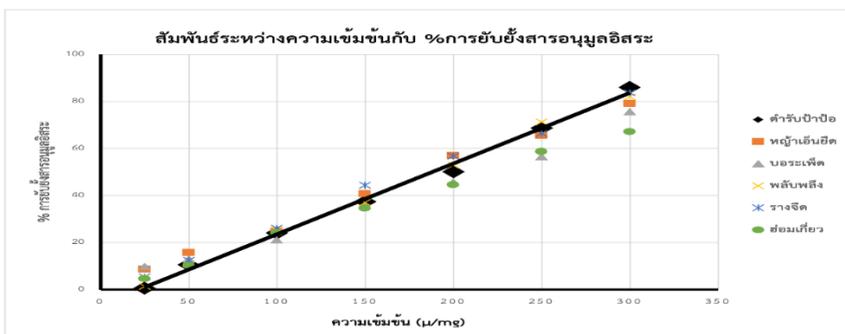
ผลการวิจัย

หลังวิเคราะห์สารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรลดปวดเข้าตำรับป่าป้อ พบว่า ปริมาณสารประกอบรวมฟีนอลและ IC50 การต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรตำรับ และสมุนไพรเดี่ยวแต่ละชนิด เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบรวมฟีนอล IC50 การต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรตำรับและสมุนไพรเดี่ยวแต่ละชนิด

ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์	สรรพคุณ	Total phenolic compound (mg /g of dry weight)	IC50 of antioxidant ability
ตำรับป่าป้อ			556.8789 ± 7.696	187.973
หญ้าเอ็นยืด	<i>Plantago major</i> L.	ลดอักเสบอาการปวดข้อสัตว์ทดลอง (Triastuti et al, 2020)	638.1720 ± 1.309	185.8042
บอระเพ็ด	<i>Tinospora crispa</i> L.	เพิ่มภูมิคุ้มกัน (Ahmad et al, 2020)	489.0986 ± 4.793	209.9192
พลับพลึง	<i>Crinum asiaticum</i> L.	ลดปวดจากโรครูมาตอย (Seraj et al, 2013)	209.35101 ± 2.266	153.1177
รางจืด	<i>Thunbergia laurifolia</i> L.	ลดการอักเสบและแก้ปวด (Boonyarikpunchai et al, 2014)	689.5499 ± 2.266	181.7162
ฮ่อมเกี้ยว	<i>Eclipta prostrata</i> L.	ต้านการอักเสบของโรคผิวหนังที่เกิดจากไรฝุ่น (Kang et al, 2020)	183.1823 ± 2.266	219.3703

จากตารางที่ 1 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพร ได้ผลสอดคล้องกันว่า ตำรับสมุนไพรที่มีความเข้มข้นสูง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี ดังภาพที่ 1 ฤทธิ์โดยรวมลดปวดเมื่อย ลดปวดและลดอักเสบ จึงมีคุณสมบัติในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลดปวดเข้าต่อไป



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ

2. ผลการทดสอบเจลลดปวดเช่าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อ

ผลการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและการคงตัวของผลิตภัณฑ์ พบว่า เจลสมุนไพรตำรับป่าป้อมีความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพรที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่ดี มีลักษณะเนื้อเจลใส สีน้ำตาล ไม่แยกชั้น มีค่า pH เฉลี่ย 6.5 มีความหนืดพอดีเมื่อทาแล้วไม่เหนอะหนะ ไม่พบคราบหลังจากทาเจล ดังตารางที่ 2 และร้อยละ 100.0 ของอาสาสมัครไม่พบอาการระคายเคือง ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสมุนไพรดำรับป่าป้อ

	หลังเตรียมเสร็จ					อุณหภูมิห้อง (14 วัน)					หลังการทำ heating-cooling 3 cycle				
	แยก ชั้น	ตะกอน	ความ หนืด	ค่า pH	คราบ	แยก ชั้น	ตะกอน	ความ หนืด	ค่า pH	คราบ	แยก ชั้น	ตะกอน	ความ หนืด	ค่า pH	คราบ
เจลเบส	ไม่มี	ไม่มี	+	6.00	ไม่ พบ	ไม่มี	ไม่มี	+	6.01	ไม่ พบ	ไม่มี	ไม่มี	+	5.95	ไม่พบ
ดำรับป่า ป้อ	ไม่มี	ไม่มี	+	6.03	ไม่ พบ	ไม่มี	ไม่มี	+	6.04	ไม่ พบ	ไม่มี	ไม่มี	++	6.00	ไม่พบ

หมายเหตุ: + = น้อย, ++ = ปานกลาง, +++ = มาก, ++++ = มากที่สุด

ผลการทดสอบการระคายเคือง พบว่า ค่าดัชนีการระคายเคืองผิวของอาสาสมัครทุกราย เป็น “ศูนย์” กล่าวคือไม่มีอาสาสมัครรายใดเลยที่เกิดการระคายเคืองต่อเจลเบส และตำรับผสมสารสกัดสมุนไพร แสดงให้เห็นว่าตำรับสมุนไพรที่พัฒนาขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองผิว

3. การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความปวดก่อนและหลังใช้เจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อของผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมแต่ละระยะ พบว่า ภายหลังจากการใช้เจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อ ผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมมีระดับคะแนนเฉลี่ยความปวดของผู้ที่มีข้อเข่าเสื่อมระยะเล็กน้อยและระยะปานกลาง ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) แต่ภายหลังจากการใช้เจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อ ผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมระยะรุนแรงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความปวดก่อนและหลังใช้เจลลดปวดเข้าจากตำรับสมุนไพรป่าป้อของผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมแต่ละระยะ

ระดับความปวด	กลุ่มทดลอง (n=30)				t	P-value
	คะแนนเฉลี่ยความ ปวดก่อนใช้เจล		คะแนนเฉลี่ยความ ปวดหลังใช้เจล			
	\bar{X}	S.D	\bar{X}	S.D		
ข้อเข่าเสื่อมระยะเล็กน้อย	7.54	2.17	3.87	2.07	9.38	0.000*
ข้อเข่าเสื่อมระยะปานกลาง	4.93	2.37	1.96	1.09	9.49	0.000*
ข้อเข่าเสื่อมระยะรุนแรง	4.13	2.56	4.26	2.34	-6.80	.502 ^{ns}

* $p < 0.001$

4. ผลการประเมินพึงพอใจ พบว่า ร้อยละ 100.0 ของอาสาสมัครพึงพอใจต่อเจลสมุนไพรดำรับป่าป้อระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.55$, S.D. = 0.60) เนื่องจากเจลเนื้อใส สีสวย ทาไม่เหนอะหนะและลดอาการปวดได้ดี ไม่มีอาการระคายเคืองบริเวณที่ทาและบรรจุภัณฑ์ที่เป็นหลอด

5. ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน

หลังผู้วิจัยถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่สมาชิกวิสาหกิจชุมชนเครือข่ายสมุนไพรโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแดง สมาชิกทั้ง 20 คนสามารถทำเจลสมุนไพรลดปวดเข้าได้ บรรจุภัณฑ์ถูกเปลี่ยนจากกระปุกแก้วเป็นหลอดพลาสติกสีขาวใส ผักดเกลือปิด-เปิด ทำให้สะดวก ง่ายต่อการใช้ ผลการวิจัยถึงผลิตภัณฑ์ที่มาจากธรรมชาติ ปริมาณเจล 100 มิลลิกรัมหลอด

อภิปรายผล

เจลสมุนไพรลดปวดเข้าตำรับป่าป้อนี้มีสรรพคุณลดปวดเข้าในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมระยะเสื่อมเล็กน้อย และระยะเสื่อมปานกลางได้ผลดี เช่นเดียวกับแผ่นแปะสมุนไพรพอกเข้าของภรตี อัครสุด และคณะ (2563) ที่สามารถลดอาการปวดเข้าได้ เนื่องจากแผ่นแปะสมุนไพรพอกเข้าและเจลสมุนไพรตำรับป่าป้อ ใช้ไบโพลีลิ่ง ซึ่งมีฤทธิ์ลดอาการปวดเมื่อย กล้ามเนื้ออักเสบ คลายเส้น (ธีรยุทธ เกษมาลี และสินีนานู ชาวตระกูล, 2561) และลดปวดจากโรครุมตอย (Sharma, 2020) ในตำรับเช่นเดียวกัน ส่วนหญ้าเอ็นยัดหรือผักกาดน้ำ มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ COX-2 ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารพรอสตาแกลนดินที่ทำให้เกิดการอักเสบ (COX-2-catalyzed prostaglandin biosynthesis) มีฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Triastuti et al, 2020) สอดคล้องหรือกะเม็งตัวเมีย มีทั้งฤทธิ์ต้านการอักเสบ ลดปวดและยับยั้งเชื้อ Staphylococcus aureus, Escherichia coli และ Klebsiella pneumonia (กรกนก เอกโยธินวงศ์, 2561; Kang et al, 2020) และบอระเพ็ดช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน (Ahmad et al, 2020) โดยเจลตำรับสมุนไพรป่าป้อนี้ ควรใช้ปริมาณ 1 ช้อนนิ้วก้อย ทาบางๆบริเวณที่มีอาการ วันละ 2-3 ครั้ง แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่า เจลสมุนไพรลดปวดเข้าตำรับป่าป้อเมื่อใช้กับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมระยะรุนแรง หลังการใช้ไม่พบอาการปวดลดลงเนื่องจากข้อเข่าเสื่อมระยะนี้กระดูกอ่อนถูกทำลายเกือบหมด อาจมีกระดูกงอกขนาดใหญ่จำนวนมาก ระหว่างข้อเข่า อาจเกิดจากการออกฤทธิ์ของสารสกัดจากสมุนไพรป่าป้อไม่มากพอ เมื่อพิจารณาความพึงพอใจต่อเนื้อใสของเจล สีสวย ทาไม่เหนอะหนะและลดอาการปวดได้ดีไม่มีอาการระคายเคืองบริเวณที่ทาและบรรจุภัณฑ์ที่เป็นหลอด เช่นเดียวกับการเปลี่ยนรูปยาพอกเข้าเป็นแผ่นแปะไฮโดรเจลของปีมหาทองธรรมชาติ และคณะ (2564) และปภาวี พรหมสูงวงศ์ และคณะ (2563) ด้วยรูปแบบผลิตภัณฑ์มีรูปลักษณ์สวยงามน่าใช้ ไม่เหนอะหนะเปรอะเปื้อน

สรุป

จากการตำรับสมุนไพรลดปวดเข้าของป่าป้อ พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลดปวดเข้าในห้องปฏิบัติการ ตำรับนี้ผ่านการทดสอบทางเคมีว่าปลอดภัย มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ชุมชนสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ด้วยตนเอง ลักษณะเจลที่ได้มีเนื้อใส สีสวย ไม่เหนอะหนะ ไม่มีกลิ่นเหม็น ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง บรรจุภัณฑ์เป็นหลอดสะดวกต่อการพกพา ราคาเข้าถึงได้และช่วยลดปวดในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมได้ดี

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอในการนำผลการวิจัยไปใช้ สูตรเจลสมุนไพรลดปวดเข่าตำรับป่าป้อนี สามารถนำไปใช้ได้กับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมเล็กน้อยและปานกลางเท่านั้น
 2. ข้อเสนอในการทำวิจัยครั้งต่อไป การเพิ่มสารสกัดตัวใหม่ในสูตรเจลสมุนไพรลดปวดเข่าตำรับป่าป้อ ทดสอบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ อาจช่วยลดอาการปวดในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมระยะรุนแรงได้
 3. ชุมชนเกิดการรวมตัวกันเป็นวิสาหกิจชุมชน มีรายได้เพิ่มและเกิดการอนุรักษ์สมุนไพรพื้นบ้าน
 4. องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หากเข้ามามีส่วนร่วมในการประชาสัมพันธ์และเสริมสร้างคุณค่าผลิตภัณฑ์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นกลายเป็นแหล่งรายได้ของคนในชุมชน นำไปสู่ความเข้มแข็งและยั่งยืนของชุมชน
- ข้อเสนอในการทำวิจัยครั้งต่อไป การเพิ่มสารสกัดตัวใหม่ในสูตรเจลสมุนไพรลดปวดเข่าตำรับป่าป้อ ทดสอบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ อาจช่วยลดอาการปวดในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมระยะรุนแรงได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่จัดสรรงบประมาณภายใต้โครงการหน่วยขับเคลื่อนนวัตกรรมเพื่อสังคม (Social Innovation Driving Unit, SID) ประจำพื้นที่ภาคเหนือตอนบน 2 ขอขอบพระคุณป่าป้อ ถาอินทร์ เป็นอย่างสูงที่อนุเคราะห์องค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อการสืบทอดส่งต่อแก่คนรุ่นต่อไปและอนุญาตให้พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อการจำหน่าย ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลดงเจน คุณอัจฉรา อินต๊ะสุวรรณ ในการประสานงาน จัดตั้งวิสาหกิจชุมชนและอนุมัติเจลสมุนไพรลดปวดข้อเข่าเสื่อมให้ใช้ได้ ใน รพ.สต. รวมทั้งขอบคุณอาสาสมัครที่เข้าร่วมทดลองผลิตภัณฑ์และสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ ทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

- กรกนก เอกโยธินวงศ์, นิรมล ศากยวงศ์, สมจิต ดาริห์อนันต์, และวรรณันต์ นาคบรรพต. (2563). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดกะเม็ง. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(1), 45-57.
- กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2561). ชุดข้อมูลอัตราการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าในผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป สิทธิ UC ของโรงพยาบาลที่ให้บริการ. สืบค้นจาก https://data.go.th/dataset/dataset-ip_21_03
- กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2556). แบบประเมินความรุนแรงโรคข้อเข่าเสื่อม. สืบค้นจาก https://www.chiangmaihealth.go.th/cmpho_web/document/160105145198009251.doc
- จักรแก้ว นามเมือง, และมงคลกิตต์ โวหารเสาวภาคย์. (2562). บันทึกพบสาแพทย์พื้นบ้าน ตำบลห้วยแก้ว อำเภอภูพาน จังหวัดพะเยา. *วารสารบัณฑิตแสงโสมคำ*, 4(1), 77-88.
- ธีรยุทธ เกษมาลี, และสินีนานู ชาวตระการ. (2561). ประสิทธิภาพของการเผาสมุนไพรเปรียบเทียบกับการทำกายภาพบำบัดในการรักษาข้อเข่าเสื่อมแบบปฐมภูมิ. *จุฬาลงกรณ์เวชสาร*, 62(6), 975-985.

นิภาพร ปัญญา, และดวงฤทัย นิคมรัฐ. (2564). การตลาดออนไลน์ของसरศักดิ์จากหญ้าเอ็นยึดหมัก เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจยั่งยืนในชุมชน วิสาหกิจเกษตรปลอดภัย บ้านม่วงเจริญราษฎร์ ตำบลบ่อสวก จังหวัดน่าน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

บุษบา ยินดีสุข, หทัยชนก บุญปก, กนกวรรณ แรงราย, ประภาวรรณ สำราญกิจ, เกวลิน ยะถาการ, วันดี ญาณไพศาล, มณฑกา อีร์ชัยสกุล, และกฤษณ์ พงศ์พิรุฬห์. (2564). ยาพอกสมุนไพรสูตรลู่วินัยต่อการลดปวดเข่า: ความปลอดภัยและผลเบื้องต้น. วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 19(3), 617-624.

ปภาวี พรหมสูงวงศ์, สุริยนต์ โคตรขมภู, วิราศิณี อึ้งสำราญ, และธรรมรัตน์ ศรีหะมงคล. (2563). ผลของแผ่นแปะเจลจากสมุนไพรขิงและขมิ้น บรรเทาอาการปวดข้อเข่าในผู้สูงอายุ ในพื้นที่ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอกลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 11, 27 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร.

ปัทมา ทองธรรมชาติ, ศุภะลักษณ์ พักคำ, อรุณี ยันตรปกรณ, และเบญจวรรณ พูนธนานิวัฒน์. (2564). การพัฒนาแผ่นแปะไฮโดรเจลสมุนไพรพอกเข้าบรรเทาอาการปวดเข่าสำหรับผู้มารับบริการที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ ตำบลบางแม่นาง จังหวัดนนทบุรี. วารสารสาธารณสุขและวิทยาศาสตร์สุขภาพ, 4(3), 67-79.

พิมพ์ทรัพย์ พิมพ์สุทธิ. (2561). บทบาทหมอเมืองในการส่งเสริมให้ชุมชนพึ่งตนเองด้านสุขภาพ ตำบลงมะตะ จังหวัดเชียงราย. วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่, 10(5), 392-403.

ภรดี อัครสุด, สุรศักดิ์ ลิ้มสุวรรณ, และกรกช วิจิตรสงวน เจ็ดวรรณะ. (2563). การเปรียบเทียบผลของตำรับยาจับโปงแห้งเข้า กับเจลพริกในการเสริมการรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม โรงพยาบาลเขาพนม จังหวัดกระบี่. วารสารวิชาการสาธารณสุข, 29(2), 270-280.

มะลิวัลย์ บริคุต, และอังคณา อินตา. (2562). พฤษศาสตร์พื้นบ้านลิ่ว ในบ้านน้ำแพะ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน. วารสารวิทยาศาสตร์ มข, 42(2), 273-259.

รติรัตน์ ทรัพย์อ่อน. (2565). การศึกษาประสิทธิผลของยาสมุนไพรพอกเข้าตำรับที่ใช้ในวิทยาลัยการแพทย์แผนไทยอภัยภูเบศร ในการรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ่อตาโล่ อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา : การศึกษาแบบสุ่มไม่ปกปิดทุกฝ่ายและควบคุมด้วยการรักษามาตรฐาน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการแพทย์แผนตะวันออก, มหาวิทยาลัยรังสิต.

รุ่งนภา จันทรา, ชลิตา สุดจันทร์, ชุตติกาญจน์ ตั้งรุ่งเจริญ, ญาณิกา ทองป่า, ฐิติมา นุชยา, ฐิติมา ปานไฉ, ณัฐธิดา ทองแถม, ณัฐธิกา เกลี้ยงขำ, ณัฐธิดา ชำนาญ, จรรยา กำเหนิดเกาะ, และฉลวย เหลือบรรจง. (2564). ผลของการใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลศรีวิชัย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 13(1), 165-173.

- วาโร เฟ็งส์วีสต์. (2552). การวิจัยและพัฒนา. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*, 1(2), 1-12.
- สุวรรณณี สร้อยสงค์, อังคณา เรือนก้อน, ภัณทิรชา เฟื่องทอง, และผุสดี สระทอง. (2562). การพยาบาลผู้สูงอายุ โรคข้อเข่าเสื่อม. *วารสารวิชาการแพทย์เขต*, 33(2), 197-210.
- อำพล บุญเพียร, ปฐมมา จันทรพล, ปัญจพร หงสมัต, กรชนก ใจใหญ่, กานติมา ฮาตุวิสัย, จันทรทิพย์ คล่องเชิงสาร, และจิราภรณ์ สิงห์ส. (2563). การพัฒนาสไลม์พอกเข่าสำหรับผู้ป่วยโรคลมจับโปงเข่า โรงพยาบาลราชพิพัฒน์ เขตบางแค กรุงเทพมหานคร. *Advance Science Journal*, 20(2), 101-117.
- Ahmad, W., Jantan, I., Haque, M.A., & Arsyad, L. (2022). Magnoflorine from *Tinospora crispa* upregulates innate and adaptive immune responses in Balb/c mice. *International Immunopharmacology*, 111, 109081.
- Boonyarikpunchai, W., Sukrong, S., & Towiwat, P. (2014). Antinociceptive and anti-inflammatory effects of rosmarinic acid isolated from *Thunbergia laurifolia* Lindl. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 124, 67-73.
- Bindua, S., Mazumder, S., & Bandyopadhyay, U. (2020). Non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and organ damage: A current perspective. *Biochemical Pharmacology*, 180, 114117.
- Cui, A., Li, H., Wang, D., Zhong, J., Chen, Y., & Lu, H. (2020). Global, regional prevalence, incidence and risk factors of knee osteoarthritis in population-based studies. *E-Clinical Medicine*, 26, 100587.
- Kang, Y.M., Kim, H.M., Lee, M., Lee, D.S., & Jin An, H. (2020). Anti-inflammatory effects of *Eclipta prostrata* Linné on house dust mite-induced atopic dermatitis in vivo and in vitro. *Journal of Ethnopharmacology*, 292, 115233.
- Long, H., Liu, Q., Yin, H., Wang, K., Diao, N., Zhang, Y., Lin, J., & Guo, A. (2022). Prevalence Trends of Site-Specific Osteoarthritis from 1990 to 2019: Findings from the Global Burden of Disease Study 2019. *Arthritis and Rheumatology*, 74(7), 1172-1183.
- Sharma, B., Vasudeva, N. & Sharma, S. (2020). Phytopharmacological review on *Crinum asiaticum*: a potential medicinal herb. *The Natural Products Journal*, 10(4), 342-354.
- Steinmeyer, J., Bock, F., Stöve, J., Jerosch, J., & Flechtenmacher, J. (2018). Pharmacological treatment of knee osteoarthritis: Special considerations of the new German guideline. *Frontiers in Psychology*, 10, 1-11.
- Triastuti, A., Pradana, D.A., Saputra, D.E., Lianika, N., Wicaksono, H.R., Anisari, T.D., & Widyarini, S. (2022). Anti-rheumatoid activity of a hexane-insoluble fraction from *Plantago major* in female Wistar rats induced by Complete Freund's Adjuvant. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 12(3), 219-224.

การปรับปรุงเส้นโค้งควบคุมของระบบอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิคการค้นหาแบบทาบ และเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนด้วยลม

นิวัตร ภูมิพันธ์^{1*} บรรณณัฐ บริบูรณ์² สุวัชร โกษาแสง³

Received : October 8, 2023

Revised : June 29, 2024

Accepted : August 9, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งหมายที่จะประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดร่วมกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอ่างเก็บน้ำ โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหา คือ การคำนวณค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดและค่าเฉลี่ยของนํ้าส่วนเกินน้อยที่สุด งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 - 2565 จำนวน 28 ปี ของอ่างเก็บน้ำจูน ในตำบลแระ อำเภอฟังโคน จังหวัดสกลนคร ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ไหลมาในแต่ละเดือน ข้อมูลความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลทางอุทกวิทยาและข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ยังจำลองเหตุการณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายเดือน จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมที่สร้างขึ้นจากแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของสถานการณ์ที่เกิดความขาดแคลนนํ้าและนํ้าส่วนเกิน โดยระบุช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด ผลการวิจัยพบว่าเส้นโค้งควบคุมจากแบบจำลองแต่ละวิธีมีแนวโน้มที่คล้ายกัน เนื่องจากปริมาณน้ำทำในแต่ละฤดูกาลและเงื่อนไขอื่น ๆ ที่มีความคล้ายกัน เมื่อนำเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองเหล่านี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน พบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนด้วยลม (WDO) สามารถลดความรุนแรงของสถานการณ์นํ้าส่วนเกินได้ดีกว่าโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาแบบทาบ (TSA) และเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน อย่างไรก็ตามเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองได้แสดงประสิทธิภาพได้ดีกว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน

คำสำคัญ: การค้นหาค่าที่ดีที่สุด การบริหารจัดการน้ำ โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ แบบจำลองทาบ
แบบจำลอง Wind Driven Optimization

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อีเมล: niwat.bh@udru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อีเมล: banyat.bo@udru.ac.th

³ หัวหน้าฝ่ายบำรุงรักษา สำนักงานชลประทานที่ 5 จังหวัดอุดรธานี อีเมล: suwapatx@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: niwat.bh@udru.ac.th

IMPROVING THE RULE CURVE OF A RESERVOIR SYSTEM USING TABU SEARCH AND WIND-DRIVEN OPTIMIZATION TECHNIQUES

Niwat Bhumiphan^{1*} Banyat Boribum² Suwapat Kosasaeng³

Abstract

This research aimed to apply an optimal search technique together with a reservoir system simulation model to find the appropriate rule curve for the reservoir. The objective function of the search was to calculate the average of the least water shortage and the average of the least water surplus. This research used water data from 1994 to 2022, totaling 28 years, from Oon Reservoir in Rae Subdistrict, Phang Khon District, Sakon Nakhon Province. These data included the amount of water flowing each month, information on water demand from reservoirs, and hydrological and physical data of the reservoir. Additionally, 1,000 water inflow events into the reservoir were simulated to evaluate the performance of the rule curve generated from the model. The results were presented in the form of situations of water scarcity and water surplus which specified the period of the event, average water volume, and maximum water volume. The research results indicate that the rule curves derived from various models exhibit similar trends due to seasonal water variations and similar conditions. When tested and compared to the current rule curve, the Wind- Driven Optimization (WDO) technique demonstrated superior capability in reducing the severity of water surplus situations compared to the Tabu Search Algorithm (TSA) and the current rule curve. Nevertheless, both models outperformed the current rule curve.

Keywords: Optimal value search, Water Management, Rule curve, Tabu search,
Wind-driven optimization

¹ Lecturer, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, e-mail: niwat.bh@udru.ac.th

² Lecturer, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, e-mail: banyat.bo@udru.ac.th

³ Head of Maintenance Department, Water Management and Maintenance Section, Irrigation Office No. 5, Udon Thani Province, e-mail: suwapatx@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: niwat.bh@udru.ac.th

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญและมีอยู่อย่างจำกัด ปัญหาทรัพยากรน้ำทำให้เกิดผลกระทบรุนแรงต่อประเทศชาติ ไม่ว่าจะเป็นอุทกภัยหรือภัยแล้ง การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (Climate change) เป็นสาเหตุหนึ่ง ที่เปลี่ยนแปลงสมดุลในลุ่มน้ำ ซึ่งส่งผลให้เกิดการไหลบ่าและการระเหยของน้ำ (Kundu et al., 2017a) บางพื้นที่มีฝนตกมากเกินไป ในทางกลับกันบางพื้นที่มีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land use change) เนื่องจากการเติบโตของประชากรและความต้องการใช้ที่ดินในกิจกรรมต่าง ๆ นี้ทำให้พื้นที่รับน้ำฝนมีการเปลี่ยนแปลง และมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้ยากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลบ่าที่พื้นผิวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตและทรัพย์สิน ในอดีตมีการจัดการปัญหาเหล่านี้ โดยการสร้างสิ่งก่อสร้างเช่น สระเก็บน้ำ คลอง ฝาย เขื่อน และอ่างเก็บน้ำ เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้น มนุษย์ถือเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการใช้น้ำในหลายด้านมากที่สุดในโลกนี้ น้ำถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้านของชีวิตมนุษย์ ได้แก่ การอุปโภค-บริโภค เช่น การดื่มน้ำและการใช้น้ำในการทำอาหาร การพลังงาน เมื่อน้ำถูกใช้ในการผลิตไฟฟ้าและเครื่องจักรต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม เพื่อการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ เพื่อผลิตอาหาร การอุตสาหกรรม เมื่อน้ำถูกใช้ในกระบวนการผลิตของสินค้าต่าง ๆ ทองเที่ยว เนื่องจากน้ำมีบทบาทสำคัญในการสร้างที่น่านอนและสถานที่ท่องเที่ยว การผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อน้ำถูกใช้ในการสร้างพลังงานไฟฟ้า การรักษาสสมดุลนิเวศ ผ่านการบำบัดน้ำและการควบคุมการใช้น้ำให้เป็นไปอย่างยั่งยืน นอกจากนี้ยังมีการผลักดันน้ำเค็มและการชะล้างน้ำเสีย (Kundu et al., 2017b) ในแหล่งน้ำเพื่อส่งน้ำสะอาดให้กับผู้ใช้งานต่าง ๆ

อ่างเก็บน้ำสามารถแบ่งออกเป็นสองประการหลัก คือการเก็บกักน้ำให้ได้ในปริมาณมากที่สุดและการรองรับปริมาณน้ำฝนที่จะเกิดขึ้น โดยมีการจัดการอ่างเก็บน้ำให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หน้าที่แรกคือการเก็บกักน้ำให้มากที่สุดเพื่อป้องกันปัญหาขาดแคลนน้ำในช่วงหน้าแล้ง การเก็บน้ำให้เต็มอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ฝนก้อนแรกอาจจะเป็นวิธีที่ดีเพื่อให้มีน้ำในปริมาณมากที่สุดที่เป็นไปได้ แต่หน้าที่ที่สองคือการรองรับน้ำฝนที่จะเกิดขึ้น ซึ่งต้องการอ่างเก็บน้ำที่มีปริมาณน้ำน้อยเพื่อรองรับน้ำฝนเข้ามา ดังนั้นจึงเกิดความขัดแย้งระหว่างการเก็บน้ำให้เต็มอ่างและการรองรับน้ำฝนในปริมาณที่มากพอ (Ngamsert & Kangrang, 2019) สำหรับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำให้อยู่ในสถานะที่มีความสมดุล นำมาพิจารณาเป็นสิ่งสำคัญ โดยจะต้องมีการวางแผนและปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเพื่อให้สามารถสอดคล้องกับทั้งการเก็บน้ำในปริมาณมากและการรองรับน้ำฝนในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นการเกษตร การใช้ในหมู่บ้าน หรือในการผลิตน้ำประปา การบริหารจัดการนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้อ่างเก็บน้ำทำหน้าที่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในทั้งสองประการนี้

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำมีความสำคัญในการรักษาสภาพนิเวศที่เหมาะสมและป้องกันปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวางแผนระบบการจัดการจัดการอ่างเก็บน้ำในอนาคตเป็นขั้นตอนสำคัญ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้น โดยเฉพาะในการคาดการณ์ปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าอ่างและการปล่อยน้ำออกจากอ่าง เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการนี้การคาดการณ์ปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและการวางแผนการปล่อยน้ำออกจากอ่างเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพื่อป้องกันปัญหาอุทกภัยและภัยแล้ง การใช้เครื่องมือและวิธีการต่าง ๆ เช่น Rational method, Theissen method, หรือ Us Soil Conservation Service (S.C.S) และแบบจำลองอื่น ๆ (Techarungruengsakul & Kangrang, 2019) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์และอธิบายสภาพทางอุทกวิทยา ที่จำเป็นสำหรับการวางแผนระบบบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในอนาคต การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำที่มีการวางแผนได้อย่างสมบูรณ์และคาดการณ์ได้อย่างแม่นยำจะช่วยลดความเสี่ยงของปัญหาอุทกภัยและปัญหาภัยแล้ง สามารถการจัดการน้ำได้เพียงพอตามความต้องการของชุมชนและธรรมชาติได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนในอนาคต

การประเมินปริมาณการใช้น้ำทั่วไปมักจะใช้โค้งควบคุมการปฏิบัติการของอ่างเก็บน้ำ หรือเรียกอีกอย่างว่า โค้งควบคุม (Rule curve) (Bhumiphan, 2021) โค้งควบคุมประกอบด้วยเส้นกราฟสองเส้น คือเส้นบนแสดงระดับควบคุมตอนบน (Upper Rule Curve, URC) ซึ่งเป็นระดับน้ำที่กำหนดให้เป็นมาตรฐานของอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือน มีความสำคัญที่จะรักษาระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้ไม่สูงเกินระดับควบคุมตอนบน เพื่อสำรองปริมาณน้ำระหว่างระดับควบคุมตอนบนกับระดับน้ำเก็บกักสูงสุด ซึ่งจะช่วยป้องกันน้ำท่วมได้ ส่วนเส้นล่างแสดงระดับควบคุมตอนล่าง (Lower Rule Curve, LRC) ซึ่งเป็นระดับน้ำต่ำสุดที่กำหนดในอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือน มีความสำคัญที่จะไม่ให้ระดับน้ำต่ำกว่าระดับควบคุมตอนล่าง เพื่อสำรองปริมาณน้ำระหว่างระดับน้ำควบคุมตอนล่างเพื่อใช้ในฤดูแล้งและระหว่างฤดูฝนตกของปีนั้น ๆ (Kumar & Baliarsingh, 2003) ดังนั้นการรักษาระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้อยู่ระหว่างระดับควบคุมตอนบนและระดับควบคุมตอนล่างมีความสำคัญมากในการบรรเทาสถานการณ์น้ำท่วมและการใช้น้ำในฤดูแล้ง

การหาค่าโค้งควบคุมที่เหมาะสมมีหลายวิธีที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ เช่น วิธีการที่ใช้กระบวนการเชิงเส้น (LP) (Gilmore & Gomory, 1963) Dynamic programming (Mendoza et al., 2021; Nagesh et al., 2010) Genetic Algorithms (GA) (Mendoza et al., 2021) Differential Evolution Algorithm (DEA) (Hormwichian et al., 2012) Particle Swarm Optimization (PSO) (Peng et al., 2017; Spiliotis et al., 2016) Tabu Search (TS) (Bhumiphan, 2021) และ Wind Driven Optimization (WDO) (Ibrahim et al., 2020; Kosasaeng et al., 2022) แต่ละวิธีมีข้อดีและความยากง่ายแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการค้นหาแบบทาบู (TS) เป็นอีกเทคนิคทางเลือกที่ใช้สำหรับการค้นหาค่าเหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาต่าง ๆ โดยมีหลักการที่เน้นการค้นหาแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) โดยไม่พึ่งพาการสุ่มหรือความน่าจะเป็น มีความสามารถใน

การค้นหาคำตอบในเวลาที่สูงขึ้น แต่มีปัญหาในลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการหาทิศทางหรือการจัดกลุ่มข้อมูล ส่วนเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนด้วยลม (WDO) แนวคิดการเคลื่อนที่ของลมในชั้นบรรยากาศถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ ในการหาค่าเหมาะสม มีความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับการค้นหาคำตอบตามลักษณะของปัญหาได้ดี

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะประยุกต์ใช้การค้นหาเส้นทางโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำอูน อำเภอฟังโคน จังหวัดสกลนคร ด้วยวิธีการค้นหาแบบ (Tabu Search Algorithms : TSA) และเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนด้วยลม (Wind Driven Optimization : WDO)

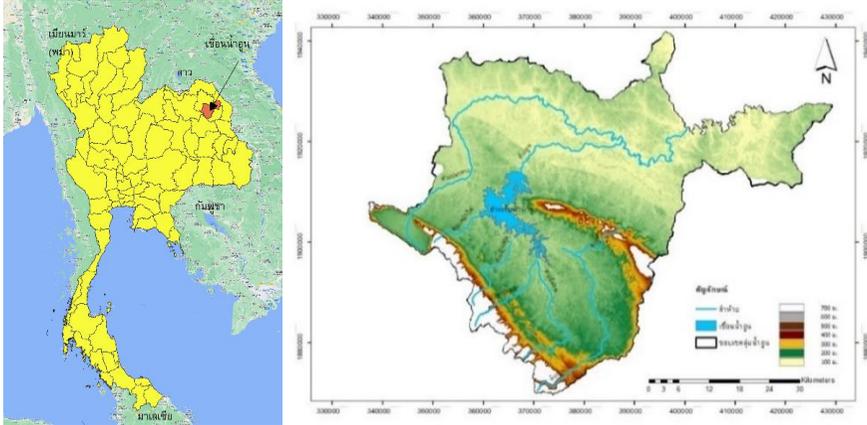
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการค้นหาเส้นทางโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำ ด้วยวิธีการค้นหาแบบ Tabu Search Algorithms (TSA) และเทคนิค Wind Driven Optimization (WDO) และประเมินประสิทธิภาพของเส้นทางโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับเส้นทางโค้งควบคุมปัจจุบัน

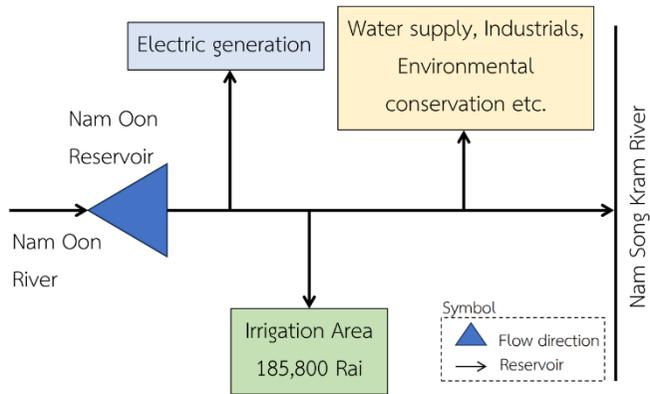
วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกอ่างเก็บน้ำอูนเป็นพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำอูนตั้งอยู่ที่พิกัด $17.213^{\circ}\text{N } 103.744^{\circ}\text{E}$ ในตำบลแร่ อำเภอฟังโคน จังหวัดสกลนคร ดังแสดงในภาพที่ 1 ตัวอ่างมีความสูงทั้งสิ้น 29.50 เมตร และยาวถึง 3,000 เมตร มีความจุสูงสุดในการเก็บกักน้ำได้ถึง 780 ล้าน ลบ.ม. และระดับน้ำเก็บกักสูงสุดที่ 187.60 ม. ปริมาตรเก็บกักเก็บน้ำต่ำสุด (Dead storage) เท่ากับ 45 ล้าน ลบ.ม. การระบายน้ำล้นได้ที่อัตรา 2 ลบ.ม./วินาที อ่างเก็บน้ำอูนเป็นสาขาหนึ่งของแม่น้ำสงครามมีการใช้ประโยชน์หลายประการ เช่น ความต้องการด้านผลิตไฟฟ้า ด้านการชลประทาน ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม และด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 2 การเพาะปลูกในช่วงฤดูฝนบริเวณที่มีขนาดใหญ่ถึง 185,800 ไร่ และในฤดูแล้ง 63,000 ไร่ นอกจากนี้ อ่างเก็บน้ำอูนสามารถช่วยบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำอูน เมื่อเริ่มต้นคำนวณการจำลองระบบของอ่างเก็บน้ำ เพื่อการจัดการน้ำ ขั้นแรกคือการกำหนดปริมาณน้ำเริ่มต้นที่อ่างเก็บน้ำจะมีในระดับเต็ม (Full capacity) ให้เป็นปริมาตรกักเก็บสูงสุด สำหรับปริมาณน้ำที่จะถูกปล่อยระบายออกจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะต้องเป็นไปตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard operating rule) ซึ่งแสดงในภาพที่ 3 สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 1 สำหรับพื้นที่เพาะปลูกในช่วงฤดูฝน และในช่วงฤดูแล้งซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในการวางแผนการจัดการน้ำในระบบนี้



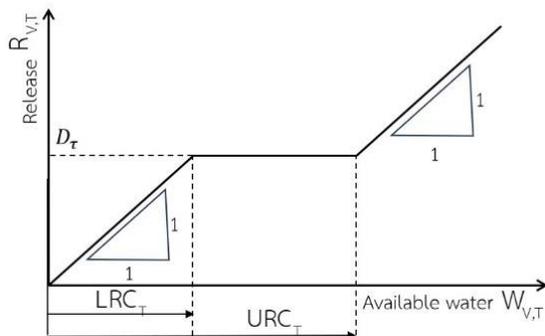
ภาพที่ 1 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำอูน



ภาพที่ 2 แผนผังลุ่มน้ำอูน

แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลงน้ำ

การศึกษาการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำในแต่ละลุ่มน้ำ แบบจำลองที่นิยมใช้คือ HEC-5, HEC-HMS และ HEC-RAS (Rodriguez et al., 2008; ฌรัฐพล แก้วทอง และคณะ, 2563) โดยมีหลักการเดียวกัน เช่น การสมดุลงน้ำ การศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำขึ้นมา โดยยึดหลักการเดียวกันกับแบบจำลองที่กล่าวมา และเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ของการเชื่อมต่อกับเทคนิคการค้นหาแบบ TSA และ WDO ในอนาคตแบบจำลองที่สร้างนี้จะสามารถใช้ในการหาสถานการณ์ที่ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์ที่น้ำส่วนเกินได้ รวมถึงความถี่ของการเกิดขึ้น ปริมาณน้ำ และช่วงเวลา



ภาพที่ 3 เกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน

$$R_{v,T} = \begin{cases} D_T + W_{v,T} - URC_T & \text{For } W_{v,T} \geq URC_T + D_T \\ D_T & \text{For } LRC_T \leq W_{v,T} < URC_T + D_T \\ D_T + W_{v,T} - LRC_T & \text{For } LRC_T - D_T \leq W_{v,T} < LRC_T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

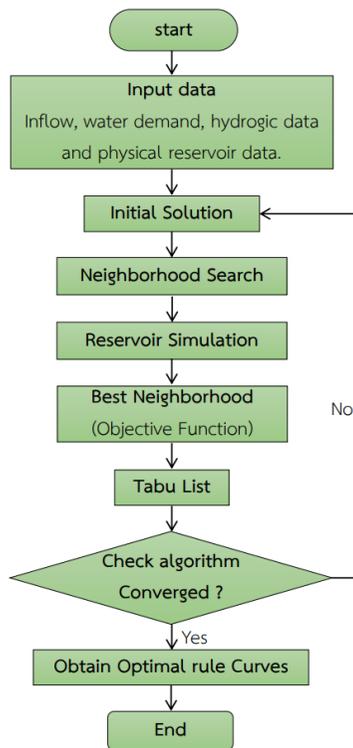
โดย $R_{v,T}$ คือ ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) ในช่วงปี n ของเดือน T ($T = 1$ ถึง 12 แทน เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม) D_T คือ ความต้องการใช้น้ำท้ายอ่างของเดือน T (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) LRC_T คือ ขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของแต่ละเดือน T , URC_T คือ ขอบเขตบนของโค้งควบคุมของเดือน T , $W_{v,T}$ คือ ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน T (หน่วย ล้าน ลบ.ม.)

$$W_{v,T+1} = S_{v,T} + Q_{v,T} - R_{v,T} - E_T - DS \quad (2)$$

โดย $S_{v,T}$ คือ ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุด เดือน T (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) $Q_{v,T}$ คือ ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน T ปี n (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) E_T คือ ค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน T (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) และ DS (Dead storage) คือ ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) เมื่อทำการจำลองสภาพสมมุติฐานโดยใช้แบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว ผลการจำลองจะแบ่งออกเป็นสถานการณ์การขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดและสถานการณ์การน้ำส่วนเกินน้อยที่สุด โดยจะถูกบันทึกข้อมูลตามความถี่และช่วงเวลาของเหตุการณ์ต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดต่อไป

การประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบทาบูกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณหาค่าเส้นโค้งควบคุมจากแบบจำลองเทคนิคการค้นหาแบบ TSA โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทำงานจำนวนรอบของการทำงาน เริ่มต้นโดยการสร้างเซตของคำตอบเริ่มจากวิธีการคำนวณระยะทางที่ลดลงได้มากที่สุดตามค่าเริ่มต้น ที่กำหนดโดยเส้นทางที่สร้างขึ้นจาก Saving methods ซึ่งคือการเลือกค่าเส้นโค้งควบคุมในแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน จำนวน 24 ค่า เป็นการสร้างค่าเส้นโค้งควบคุมเริ่มต้น หลังจากนั้นนำค่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้มาดำเนินการ Reservoir operation แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยออกจากอ่างในแต่ละเดือนภายใต้เส้นโค้งควบคุมชุดนี้ เพื่อนำไปประเมินสถานการณ์การคลื่อนน้ำตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ การศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของน้ำส่วนเกินน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด และค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบในกรณีใช้นํ้าปกติและกรณีเพิ่มความต้องการใช้นํ้า ซึ่งแสดงดังสมการ (3) การทำงานของเทคนิคนี้จะเป็นแบบวนซ้ำจนกว่าจะถึงเงื่อนไขที่ตั้งไว้ หากไม่ถึงเงื่อนไขที่ตั้งไว้จะทำงานต่อไปจนครบรอบที่กำหนดและได้ค่าโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาแบบทาบูกับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำสำหรับการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด

$$\text{Min}_{(avr)} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \quad (3)$$

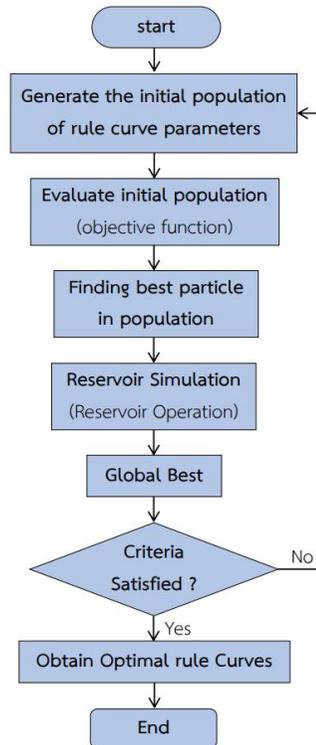
โดย n คือ ความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน Sh_v คือ ปริมาณน้ำที่ขาดในปี V (ปริมาณน้ำที่ปล่อยน้อยกว่าเป้าหมายความต้องการใช้น้ำ) กรณีความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดจะเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาค่าตอบเป็นความถี่ของการขาดแคลนดังสมการ (4)

$$\frac{Y_n}{\sum Y_{in}} \quad (4)$$

โดย Y_n คือ จำนวนปีที่ขาดแคลนนํ้า และ $\sum Y_{in}$ คือ จำนวนปีของข้อมูลปริมาณน้ำท่าทั้งหมด

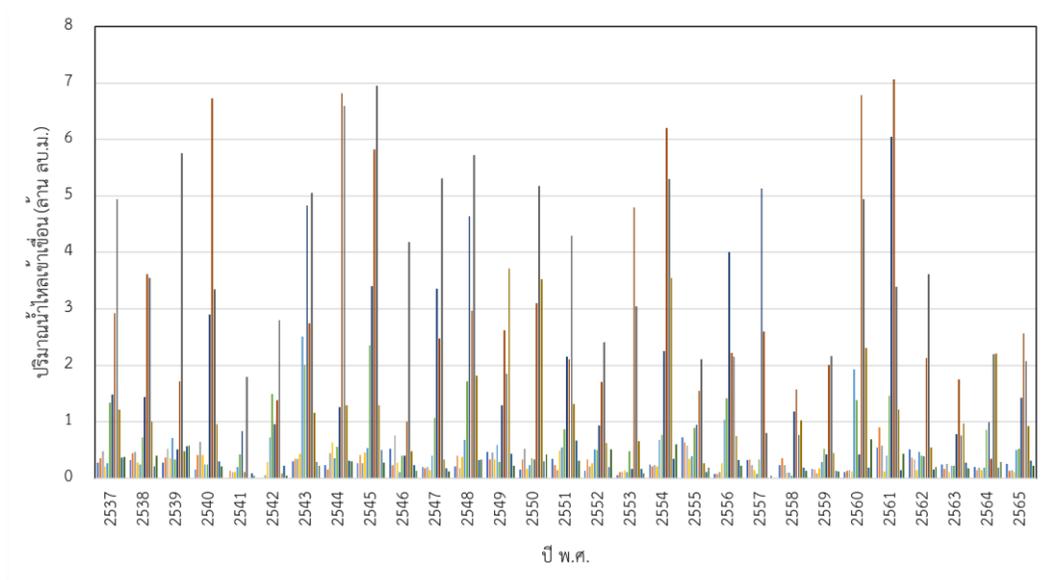
การประยุกต์ใช้วิธี Wind Driven Optimization กับแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณหาค่าเส้นโค้งควบคุมจากแบบจำลองเทคนิคการค้นหาแบบ WDO โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทำงานและจำนวนรอบของการทำงานที่ต้องการทำ สร้างประชากรเริ่มต้นโดยการสร้างเซตของคำตอบเริ่มต้น ซึ่งเป็นการเลือกค่าเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน จำนวน 24 ค่า เป็นการสร้างค่าโค้งควบคุมเริ่มต้น หลังจากนั้นสร้างเซตของคำตอบใกล้เคียงที่เป็นไปได้โดยการเลือกเซตคำตอบใกล้เคียงที่ดีที่สุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทำการตรวจสอบเงื่อนไขพิจารณาเกณฑ์ความปรารถนา (Aspiration criteria) โดยกำหนดเป็นเงื่อนไขสำหรับพิจารณาเซตของคำตอบข้างเคียง ตรวจสอบรอบการทำงาน (Stopping criteria) และหากยังไม่ถึงเงื่อนไขที่ตั้งไว้ จะทำงานต่อไปจนกระทั่งเมื่อครบรอบที่กำหนดแล้วและได้ค่าเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมตามเงื่อนไข นำค่าโค้งควบคุมที่ได้มาดำเนินการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operation simulation) คำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนเป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาค่าตอบ การศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของน้ำส่วนเกินน้อยที่สุด ค่าความถี่ของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด และค่าปริมาณการขาดแคลนสูงสุดที่น้อยที่สุด เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาค่าตอบในกรณีใช้น้ำปกติและกรณีเพิ่มความถี่ความต้องการใช้น้ำ ซึ่งแสดงดังสมการ (3) การทำงานของเทคนิคนี้จะเป็นแบบวนซ้ำหากยังไม่ถึงเงื่อนไขที่ตั้งไว้ จะทำงานต่อไปจนกระทั่งเมื่อครบรอบที่กำหนดและได้ค่าโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ดูตัวอย่างการทำงานในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การประยุกต์เทคนิค Wind Driven Optimization สำหรับการค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุด

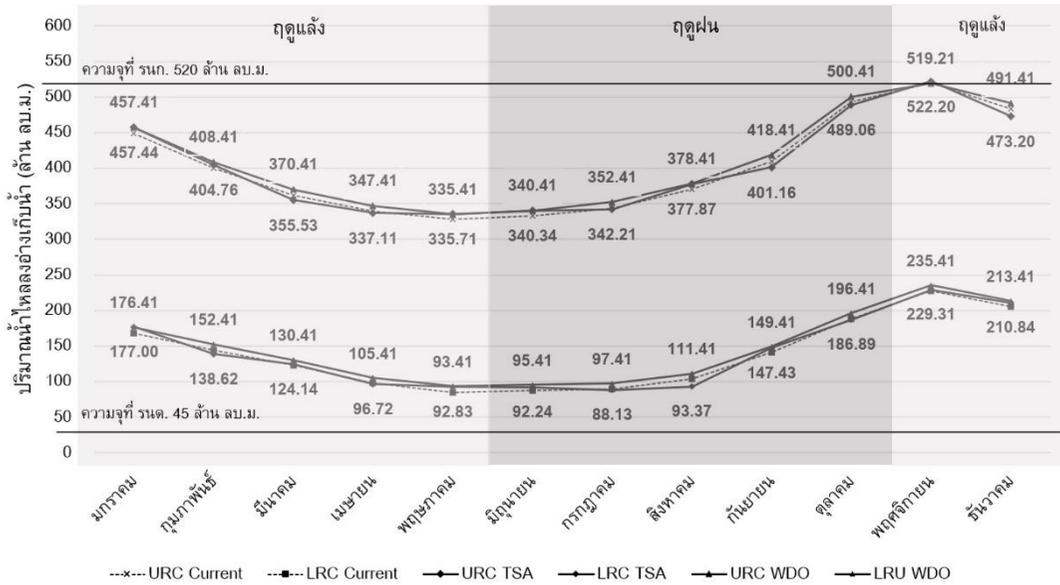
การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเทคนิคการค้นหาแบบ TSA และ WDO จะดำเนินการโดยนำค่าเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำด้วยการสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมา 1,000 ชุดเหตุการณ์ จากข้อมูลน้ำที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำจำนวน 28 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2537–2565 ดังภาพที่ 6 ด้วยแบบจำลอง HEC-4 (วิเชียร ปลื้มกมล, 2536) ครอบคลุมเหตุการณ์ที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นรวมถึงเหตุการณ์ในอดีตที่เคยเกิดขึ้นมาแล้ว เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบจากกฎของการจัดการและการควบคุม จากนั้นคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ และจะแสดงผลเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและน้ำส่วนเกิน รวมถึงความถี่ของการเกิดขึ้นปริมาณ และช่วงเวลา



ภาพที่ 6 ข้อมูลน้ำทำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537–2565 จำนวน 28 ปี

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลจากการสร้างเส้นโค้งควบคุมจากแบบจำลองการเลียนแบบร่วมกับแบบจำลองการค้นหาแบบ TSA และ WDO ถูกนำมาเปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน (Current) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำทำ จำนวน 28 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2537–2565 ดังภาพที่ 6 ใช้ความต้องการน้ำแบบรายเดือนซึ่งเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ได้ จะใช้สำหรับกรณีที่สถานการณ์น้ำปกติทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 7 จากภาพจะเห็นว่าเส้นโค้งควบคุมใหม่ตาม ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากแบบจำลองการค้นหาแบบ TSA และ WDO มีหลายจุดที่ได้ค่าแตกต่างกันแต่มี แนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน เส้นโค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากเทคนิค WDO จะสูงกว่า TSA และเส้นโค้งควบคุมที่ใช้ใน ปัจจุบัน ซึ่งเป็นการลดการปล่อยน้ำในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนมิถุนายน ส่งผลให้น้ำเหลืออยู่ใน อ่างเก็บน้ำมากขึ้น เพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ตามความจำเป็น ช่วยลดการขาดแคลนน้ำในช่วงหน้าแล้งได้ดี และค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนซึ่งทำให้กักเก็บน้ำไว้ได้มากขึ้นเนื่องจากสิ้นสุดฤดูกาลเพาะปลูก แล้ว ส่วนเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาแบบ TSA นั้นมีความคล้ายคลึงกับเส้นโค้งควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน แต่มีบางจุดที่สูงกว่าแต่มีแนวโน้มของเส้นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งในเดือนกรกฎาคมเป็นการพร่องน้ำออกจาก อ่างเก็บน้ำ เพื่อที่จะทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเพียงพอที่จะรับน้ำฝน หรือรองรับปริมาณน้ำไหลหลากที่อาจจะ เกิดขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดน้ำท่วมได้



ภาพที่ 7 เส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำอูน

ตารางที่ 1 ประเมินผลเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีต จำนวน 28 ปี

Situations	Rule curves	Frequency (Time/year)	Volume (MCM/year)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage	Current	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	TSA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	WDO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Overflow	Current	1.000	250.540	470.730	30.000	30.000
	TSA	1.000	250.030	469.140	30.000	30.000
	WDO	1.000	250.000	469.000	30.000	30.000

จากตารางที่ 1 พบว่าผลลัพธ์ของเส้นโค้งควบคุมทั้ง 3 สถานการณ์น้ำขาดแคลนมีค่าเท่ากัน ไม่เกิดการขาดแคลนน้ำ และมีค่าความถี่ของน้ำส่วนเกินเท่ากันทั้ง 3 แบบ ส่วนปริมาณน้ำส่วนเกินพบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากจากการค้นหาเทคนิค WDO มีค่าน้ำส่วนเกินเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 250.000 ล้าน ลบ.ม เส้นโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาแบบ TSA คือ 250.030 ล้าน ลบ.ม และเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน คือ 250.540 ล้าน ลบ.ม ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่างานของ (เจษฎา ตงศิริ และอนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง, 2561) จากผลลัพธ์เหล่านี้อธิบายได้ว่าเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ถูกสร้างขึ้นจากแบบจำลองมีประสิทธิภาพดีกว่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันเล็กน้อยกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ

ตารางที่ 2 ประเมินผลเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ จากข้อมูลการสังเคราะห์เหตุการณ์ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์

Situations	Rule curves	Frequency (Time/year)	Volume (MCM/year)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage	Current	μ	0.000	0.000	0.000	0.000
		σ	0.000	0.000	0.000	0.000
	TSA	μ	0.000	0.000	0.000	0.000
		σ	0.000	0.000	0.000	0.000
	WDO	μ	0.000	0.000	0.000	0.000
		σ	0.000	0.000	0.000	0.000
Overflow	Current	μ	0.992	247.897	517.209	22.602
		σ	0.019	23.437	76.562	5.169
	TSA	μ	0.992	246.910	518.410	22.819
		σ	0.019	23.436	77.234	4.967
	WDO	μ	0.992	246.325	516.886	22.806
		σ	0.019	23.438	77.247	4.978

หมายเหตุ μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการประเมินประสิทธิภาพของเส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการค้นหาแบบ TSA และ WDO เปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สังเคราะห์ จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ จากตารางที่ 2 พบว่าผลลัพธ์ของสถานการณ์ขาดแคลนน้ำของเส้นโค้งควบคุมทั้ง 3 แบบ มีค่าเท่ากันคือไม่ขาดแคลนน้ำ สอดคล้องกับงานของ (เจษฎา ตงศิริ และอนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง, 2561) แต่สถานการณ์น้ำส่วนเกินพบว่ามีโอกาสเกิดขึ้น 0.992 ครั้งต่อปี ทั้ง 3 แบบ ส่วนปริมาณน้ำส่วนเกินเฉลี่ยเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันสามารถลดปริมาณน้ำส่วนเกินเฉลี่ย คือ 247.897 ล้าน ลบ.ม เส้นโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาแบบ TSA คือ 246.910 ล้าน ลบ.ม อย่างไรก็ตามพบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค WDO คือ 246.325 ล้าน ลบ.ม สามารถลดปริมาณน้ำส่วนเกินได้ดีกว่าเส้นโค้งควบคุมจากการค้นหาแบบ TSA และเส้นโค้งควบคุมปัจจุบัน ส่วนช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดน้ำส่วนเกินพบว่ามีค่าเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันดีกว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค WDO และ TSA คือ 22.602 ปี 22.806 ปี และ 22.819 ปี ตามลำดับ

สรุป

การปรับปรุงเส้นโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาแบบ TSA และ WDO เปรียบเทียบกับเส้นโค้งควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ คือ การคำนวณค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดและค่าเฉลี่ยของน้ำส่วนเกินน้อยที่สุด พบว่า เส้นโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำทั้ง 3 แบบ ได้ค่าเส้นโค้งควบคุมที่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีลักษณะการสูงขึ้น-ลดลงของเส้นโค้งควบคุมที่คล้ายคลึงกัน เช่น เส้นโค้งควบคุมจากเทคนิค WDO สูงกว่าเส้นโค้งควบคุมที่

ได้จากการค้นหาแบบ TSA และเส้นโค้งควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งส่งผลให้ลดการปล่อยน้ำในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนมิถุนายน ทำให้มีน้ำกักเก็บไว้ใช้ตามความจำเป็นมากขึ้น ลดการขาดแคลนน้ำในช่วงหน้าแล้งได้ดี และจะเพิ่มสูงขึ้นในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายนซึ่งทำให้กักเก็บน้ำไว้ได้มากขึ้นเนื่องจากสิ้นสุดฤดูกาลเพาะปลูก เมื่อนำเส้นโค้งควบคุมทั้ง 3 แบบมาทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกันโดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ พบว่าค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดมีค่าเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการค้นหาแบบ TSA และ WDO สามารถค้นหาเส้นโค้งควบคุมที่เหมาะสม ช่วยบรรเทาสภาวะน้ำท่วมและสภาวะน้ำแล้งของอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพโดยการสังเคราะห์ปริมาณน้ำท่า 1,000 ชุดเหตุการณ์ พบว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จาก WDO มีประสิทธิภาพมากกว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค TSA และเส้นโค้งควบคุมปัจจุบันเล็กน้อย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเส้นโค้งควบคุมที่ได้จาก TSA และ WDO มีประสิทธิภาพในการลดการขาดแคลนน้ำและน้ำส่วนเกินของอ่างเก็บน้ำได้เป็นอย่างดีในสภาวะการใช้น้ำปกติทั่วไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ได้สนับสนุนทุน และส่วนบริหารจัดการน้ำและบำรุงรักษาสำนักงานชลประทานที่ 5 จังหวัดอุดรธานีที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่าง ๆ ในการใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เจษฎา ตงศิริ, และอนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2561). การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยาและการปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ น้ำอุ้น ด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม. *Journal of Science & Technology MSU*, 37(6).
- ณัฐพล แก้วทอง, ปกรณ์ ดิษฐกิจ, สรายุทธ์ นาครอด, และชยณัฐ บัวทองเกื้อ. (2563). การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS และ HEC-RAS เพื่อศึกษาแนวทางการบรรเทาอุทกภัยของอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช. *Journal of Science & Technology MSU*, 39(3).
- วิเชียร ปลื้มกมล. (2536). การสังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าโดยใช้โปรแกรม HEC-4 (Runoff Generation by HEC-4). *Engineering and Applied Science Research*, 20(1), 31-37.
- Bhumiphan, N. (2021). Improvement of Optimal Reservoir Operation Rule Curve by Tabu Search: A Case Study of Huai Luang. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 31(3), 461-470.
- Gilmore, P. C., & Gomory, R. E. (1963). A linear programming approach to the cutting stock problem—Part II. *Operations research*, 11(6), 863-888.
- Hormwichian, R., Kangrang, A., Lamom, A., Chaleeraktragoon, C., & Patamatamkul, S. (2012). Coupled-operations model and a conditional differential evolution algorithm for improving reservoir management. *International Journal of Physical Sciences*, 7(42), 5701-5710.

- Ibrahim, I. A., Hossain, M., Duck, B. C., & Nadarajah, M. (2020). An improved wind driven optimization algorithm for parameters identification of a triple-diode photovoltaic cell model. **Energy Conversion and Management**, 213, 112872.
- Kosasaeng, S., Yamoat, N., Ashrafi, S. M., & Kangrang, A. (2022). Extracting Optimal Operation Rule Curves of Multi-Reservoir System Using Atom Search Optimization, Genetic Programming and Wind Driven Optimization. **Sustainability**, 14(23), 16205.
- Kumar, D. N., & Baliarsingh, F. (2003). Folded dynamic programming for optimal operation of multireservoir system. **Water Resources Management**, 17, 337-353.
- Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. (2017a). Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance. **Ecological Engineering**, 105, 42-57.
- Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. (2017b). Past, present and future land use changes and their impact on water balance. **Journal of environmental management**, 197, 582-596.
- Mendoza, R. R., Arganis J. M. L., Domínguez M. R., Padilla M. L. D., Fuentes M. Ó. A., Mendoza Reséndiz, A., Carrizosa E. E., & Carmona P. R. B. (2021). Operation policies through dynamic programming and genetic algorithms, for a reservoir with irrigation and water supply uses. **Water Resources Management**, 35, 1573-1586.
- Nagesh K. D., Baliarsingh, F., & Srinivasa R. K. (2010). Optimal reservoir operation for flood control using folded dynamic programming. **Water Resources Management**, 24, 1045-1064.
- Ngamsert, R., & Kangrang, A. (2019). **Estimation of Water Demand from Reservoir by Participation and Reservoir Operation**. (Doctoral dissertation, Mahasarakham University).
- Peng, Y., Peng, A., Zhang, X., Zhou, H., Zhang, L., Wang, W., & Zhang, Z. (2017). Multi-Core parallel particle swarm optimization for the operation of Inter-Basin water transfer-supply systems. **Water Resources Management**, 31, 27-41.
- Rodriguez, L. B., Cello, P. A., Vionnet, C. A., & Goodrich, D. (2008). Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream-aquifer interactions in a drainage basin. **Journal of Hydrology**, 353(1-2), 129-142.
- Spiliotis, M., Mediero, L., & Garrote, L. (2016). Optimization of hedging rules for reservoir operation during droughts based on particle swarm optimization. **Water Resources Management**, 30, 5759-5778.
- Techarungruengsakul, R., & Kangrang, A. (2019). **Estimation of Reservoir Inflow by Participation and Reservoir Operation**. (Doctoral dissertation, Mahasarakham University).

ความรู้ ความเชื่อด้านสุขภาพ และพฤติกรรมการป้องกันโรคไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ของประชาชนในอำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

อัมมندا ไชยกาญจน์¹ ธนัศดา สุขแสงประสิทธิ์² อมรา ไชยกาญจน์³ ปฎิภาณี ชันธโคก^{4*}

Received : November 7, 2023

Revised : June 27, 2024

Accepted : August 9, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวางนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและหาความสัมพันธ์ของปัจจัยส่วนบุคคล ระดับความรู้ ความเชื่อด้านสุขภาพ และพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ของประชาชนในอำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 161 คน โดยมีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยเป็นประชาชนที่อาศัยอยู่ในหมู่ 6 ตำบลท่าดินแดง เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม ระหว่างเดือนเมษายน 2565 แบบสอบถามมีค่า IOC เท่ากับ 0.67-1.00 แบบสอบถามความรู้มีค่า KR-20 เท่ากับ 0.80 ส่วนแบบสอบถามความเชื่อด้านสุขภาพ และพฤติกรรมมีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคเท่ากับ 0.78 และ 0.82 ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา สถิติ Chi-Square และสถิติ Pearson Product Moment Correlation

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีระดับความรู้ ระดับความเชื่อด้านสุขภาพ และระดับพฤติกรรมเกี่ยวกับการป้องกันโรคโควิด 19 อยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 67.10 ,91.30 และ 97.52 ตามลำดับ) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ได้แก่ ความเชื่อด้านสุขภาพ มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r=0.478$, $p<0.001$) นอกจากนี้อายุ ($x^2 = 30.363$, $df=4$) และอาชีพ มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ($x^2 = 11.808$, $df=5$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ความเชื่อด้านสุขภาพส่งผลเชิงบวกต่อพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ดังนั้นการส่งเสริมให้ประชาชนมีการรับรู้ทางสุขภาพที่ดีและเหมาะสม รวมถึงการส่งเสริมให้มีพฤติกรรมป้องกันโรคที่ถูกต้องจะช่วยให้ลดความเสี่ยงการติดเชื้อโรคโควิด 19 ต่อตนเองครอบครัวและชุมชน อีกทั้งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนป้องกันโรคติดเชื้อในหน่วยงานทางด้านสาธารณสุขต่อไป

คำสำคัญ: ความเชื่อด้านสุขภาพ พฤติกรรมการป้องกันโรค โรคไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: amanda.chaikang9@gmail.com

² นักศึกษา สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: mildday44@aru.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเภสัชวิทยา สถาบันวิทยาศาสตร์พรีคลินิก คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อีเมล: cammara@tu.ac.th

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: kpatipanee@aru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: kpatipanee@aru.ac.th

KNOWLEDGE, HEALTH BELIEFS AND PREVENTIVE BEHAVIORS
REGARDING CORONAVIRUS DISEASE 2019 AMONG RESIDENTS OF PHAK HAI DISTRICT,
PHRA NAKHON SI AYUTTHAYA PROVINCE

Amanda Chaikan¹ Thanadda Suksangprasit² Ammara Chaikan³ Patipanee Khanthapok^{4*}

Abstract

This descriptive cross-sectional research aimed to study and investigate the factors associated with individual factors, levels of knowledge, health beliefs, and preventive behaviors toward COVID-19 among people in Phak Hai District, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. The sample consisted of 161 participants selected using purposive sampling from residents of Moo 6 village, Tha Din Daeng sub-district. Data was collected using a questionnaire in April 2022. The questionnaire had an IOC value of 0.82, a KR-20 of the knowledge questionnaire was 0.80, and the Cronbach's alpha coefficients for the attitude and behavior questionnaires were 0.78 and 0.82, respectively. Data were analyzed using descriptive statistics, Chi-Square, and Pearson product-moment correlation.

The results showed that participants had high levels of knowledge, health beliefs, and preventive behaviors toward COVID-19 (67.10%, 91.30%, and 97.52%, respectively). Factors related to COVID-19 included the level of health beliefs, which had a positive correlation ($r=0.478$, $p<0.001$). Additionally, age ($\chi^2 = 30.363$, $df=4$) and occupation ($\chi^2 = 11.808$, $df=5$) were significantly correlated with preventive behaviors toward COVID-19 ($p<0.05$). This study indicates that health beliefs positively influence COVID-19 prevention behaviors. Therefore, the findings suggest that promoting appropriate preventive behaviors can reduce the risk of COVID-19 infection for individuals, families, and communities. Moreover, the data will provide information for planning future infectious disease prevention strategies in public health organizations.

Keywords: Health belief, Disease preventive behavior, Coronavirus disease 2019

¹ Lecturer, Public Health Program, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, e-mail: amanda.chaikan9@gmail.com

² Student, Public Health Program, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, e-mail: mildday44@aru.ac.th

³ Assistant Professor, Pharmacology school, Department of Preclinical Science,
Faculty of Medicine, Thammasat University, e-mail: cammara@tu.ac.th

⁴ Lecturer, Public Health Program, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, e-mail: kpatipanee@aru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: kpatipanee@aru.ac.th

บทนำ

การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ โควิด 19 (Covid-19) ได้มีจุดเริ่มต้นการระบาดของเชื้อไวรัสสายพันธุ์ใหม่ที่เมืองอู่ฮั่น สาธารณรัฐประชาชนจีน เมื่อวันที่ 30 ธันวาคม 2562 และเกิดการระบาดไปในวงกว้างอย่างรวดเร็วไปทั่วโลก ส่งผลให้มีผู้ป่วยหนักและผู้เสียชีวิตจำนวนมาก สำหรับประเทศไทยพบผู้ติดเชื้อโควิด 19 ตั้งแต่เดือน มกราคม 2563 จนเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2563 องค์การอนามัยโลกได้มีการประกาศให้โรคโควิด 19 เป็นโรคที่มีการระบาดใหญ่ไปทั่ว (กระทรวงสาธารณสุข, 2565) ไวรัสชนิดนี้ส่วนใหญ่แพร่กระจายผ่านการสัมผัสกับผู้ติดเชื้อผ่านทางละอองเสมหะจากการไอ จาม น้ำมูก น้ำลาย โดยส่วนใหญ่มีอาการโดยทั่วไป ได้แก่ อาการระบบทางเดินหายใจ มีไข้ ไอ หายใจถี่ หายใจลำบาก ในกรณีที่อาการรุนแรงมากอาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อน เช่น ปอดบวม ปอดอักเสบ หรืออาจเสียชีวิต (กรมควบคุมโรค, 2565)

ในปัจจุบันพบว่ามีการกลายพันธุ์ออกเป็น 6 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ S หรือสายพันธุ์อู่ฮั่น สายพันธุ์อัลฟา สายพันธุ์เบต้า สายพันธุ์เดลต้า และสายพันธุ์โอไมครอน ซึ่งสายพันธุ์ที่กำลังระบาดอยู่ในประเทศไทย คือสายพันธุ์โอไมครอน และพบการแพร่ระบาดไปหลายจังหวัดทั่วประเทศ ทั้งนี้อาการของผู้ป่วยโควิด 19 สายพันธุ์โอไมครอน ผู้ติดเชื้อส่วนใหญ่อารมณ์ไม่รุนแรง อาจไม่จำเป็นต้องได้รับการดูแลรักษาแบบผู้ป่วยในของโรงพยาบาล หรืออยู่โรงพยาบาลเพียงระยะสั้น ๆ แล้วไปพักฟื้นที่บ้านหรือสถานที่รัฐจัดให้ (กรมควบคุมโรค, 2565) แต่ถึงแม้ว่าอาการส่วนใหญ่จะไม่รุนแรง ประกอบกับประชาชนส่วนใหญ่ได้รับวัคซีนป้องกันโรคโควิด 19 แต่ก็ยังคงมีผู้ติดเชื้อในระดับสูง โดยเฉพาะผู้ที่มีโรคประจำตัว และโรคเรื้อรังยังคงมีความเสี่ยงในการเสียชีวิตสูง โดยตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2565 ถึง 29 มีนาคม 2565 พบผู้ติดเชื้อในประเทศไทยรวม 1,351,963 ราย เสียชีวิต 3,260 ราย ผู้ป่วยกำลังรักษา 245,154 ราย (กระทรวงสาธารณสุข, 2565)

จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นจังหวัดหนึ่งที่พบผู้ป่วยยืนยันติดเชื้อโควิด 19 สะสม 33,333 ราย มีจำนวนผู้ป่วยรายใหม่ 184 ราย รักษาอยู่โรงพยาบาล 3,245 ราย เสียชีวิตสะสม 72 ราย (ข้อมูลวันที่ 29 เมษายน 2565) (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพระนครศรีอยุธยา, 2565) รวมถึงในพื้นที่หมู่ 6 ตำบลท่าดินแดง อำเภอ ผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีรายงานผู้ติดเชื้อโควิด 19 ประมาณร้อยละ 39 ของประชากร ซึ่งมากกว่า 1 ใน 3 เมื่อเทียบกับประชากรในพื้นที่ ซึ่งยังคงเป็นอัตราการติดเชื้อที่ค่อนข้างสูง (ข้อมูลวันที่ 21 เมษายน 2565) อาจเนื่องจากมีโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก อีกทั้งมีแรงงานต่างด้าวที่ทำงานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่นี้และพื้นที่ใกล้เคียง ทำให้ประชาชนส่วนใหญ่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อจากการสัมผัส และการปฏิบัติงานร่วมกันในที่ทำงาน อีกทั้งยังมีความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อไปยังผู้สูงอายุ และเด็กภายในชุมชนอีกด้วย (โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพส่วนตำบลท่าดินแดง, 2565)

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการฉีดวัคซีนเพื่อลดความรุนแรงของโรค แต่ก็ยังไม่สามารถป้องกันการติดเชื้อและการแพร่เชื้อได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นผู้ที่ได้รับวัคซีนจึงยังคงสามารถติดเชื้อและแพร่เชื้อให้กับผู้อื่นได้ ปัจจัยสำคัญที่สามารถช่วยลดจำนวนผู้ติดเชื้อและการแพร่ระบาดของโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือการมีความรู้ทัศนคติ และพฤติกรรมในการป้องกันตนเองที่ถูกต้องของประชาชน เช่น การสวมใส่หน้ากากอนามัย การล้างมืออย่างถูกวิธี หลีกเลี่ยงการอยู่ในสถานที่แออัด รวมถึงการเว้นระยะห่าง (อัมมันดา ไชยกาญจน์ และปฏิภาณิ ชันธโภาค, 2566) จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีงานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ กับพฤติกรรมในการป้องกันตนเองจากโรคโควิด 19 ในชุมชน โดยเฉพาะในระดับตำบล ยังมีจำกัดในประเทศไทย ซึ่งการที่บุคคลจะสามารถมีพฤติกรรมป้องกันสุขภาพได้นั้น สามารถอธิบายได้จากแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ (Health Belief Model; HBM) ของ Becker et al. (1977) ว่าบุคคลนั้นจะต้องมีการรับรู้ว่าตนเองมีโอกาสเสี่ยงต่อโรคนั้นมากหรือน้อยเพียงใด มีการรับรู้ความรุนแรงว่าหากบุคคลนั้นเป็นโรค

ดังกล่าวทำให้เกิดความรุนแรง หรือเกิดภาวะแทรกซ้อนถึงแก่ชีวิต หากบุคคลรับรู้ถึงประโยชน์ในด้านการรักษา และการปฏิบัติตนว่ามีมากกว่าอุปสรรคในการปฏิบัติตนตามคำแนะนำแล้ว บุคคลนั้นจะมีพฤติกรรมป้องกัน เกิดขึ้นและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพให้เป็นไปในทิศทางที่ดีและเหมาะสมโดย จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคโควิดของประชาชนในเขตอำเภอฝักไถ่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อที่จะได้นำข้อมูลมาเป็นแนวทางในการส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันโรคที่ถูกต้องของประชาชนในการลดความเสี่ยงการติดเชื้อโรค โควิด 19 ต่อตนเองครอบครัวและชุมชน และข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผน ป้องกันโรคติดเชื้อในหน่วยงานทางด้านสาธารณสุขต่อไป

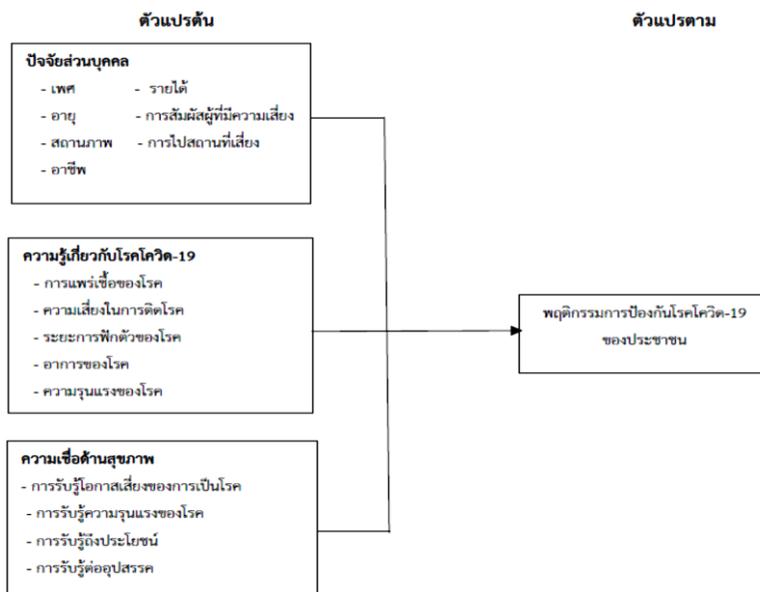
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคล ระดับความรู้ ความเชื่อด้านสุขภาพ และพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรค โควิด 19 ของประชาชน ในอำเภอฝักไถ่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ของประชาชน ในอำเภอฝักไถ่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวคิด

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ (Health belief model) (Becker et al., 1977) ได้แก่ การรับรู้โอกาสเสี่ยงของการเป็นโรค การรับรู้ความรุนแรงของโรค การรับรู้ถึงประโยชน์ของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรค การรับรู้ต่ออุปสรรคของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรค มาพัฒนาเป็นกรอบแนวคิดในการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ เป็นประชาชนในหมู่ที่ 6 ตำบลท่าดินแดง อำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จากข้อมูลประชากร ณ เดือนเมษายน พ.ศ.2565 จำนวน 268 คน

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ เป็นประชาชนที่อาศัยอยู่หมู่ที่ 6 ตำบลท่าดินแดง อำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) เนื่องจากมีอัตราการติดเชื้อโรคโควิด19 ในอัตราสูง โดยมีการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรการหาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 161 คน ดังนี้

ในการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างครั้งนี้ ใช้สูตรการหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างคำนวณจากสูตรของ Taro Yamane (Yamane, 1973)

$$n = \frac{N}{1 + N(e^2)}$$

โดย n หมายถึง ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง , N หมายถึง ขนาดของประชากร , e หมายถึง ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ซึ่งกำหนดความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05

แทนค่าในสูตร

$$\begin{aligned} n &= \frac{268}{1 + 268(0.05^2)} \\ &= 160.47 \\ &= 161 \end{aligned}$$

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างพบว่าขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิจัยครั้งนี้ จำนวน 161 คน เกณฑ์การคัดเข้า ได้แก่ 1) เป็นประชาชนอายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป อาศัยอยู่หมู่ที่ 6 ตำบลท่าดินแดง อำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 2) สามารถพูด อ่าน หรือฟังภาษาไทยเข้าใจ 3) ไม่มีภาวะทางสุขภาพจิต และ 4) มีความสนใจและสมัครใจในการเข้าร่วมวิจัย ดำเนินการเก็บข้อมูลในเดือนเมษายน 2565 เกณฑ์การคัดออก ได้แก่ 1) ผู้ที่มีความบกพร่องด้านการสื่อสาร 2) ไม่สะดวกเข้าร่วมโครงการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

แบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คณะผู้วิจัยสร้างขึ้นจากการทบทวนเอกสารความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยพัฒนาจากแบบสอบถามจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย เพศ อายุ สถานภาพ อาชีพ การสัมผัสผู้ที่มีความเสี่ยง และการไปสถานที่เสี่ยง จำนวน 7 ข้อ เป็นแบบเลือกตอบ

ส่วนที่ 2 แบบวัดความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด 19 ประกอบด้วยข้อคำถาม จำนวน 10 ข้อ แบบเลือกตอบ โดยมีตัวเลือก คือ “ใช่” “ไม่ใช่” และ “ไม่รู้” หากตอบ “ใช่” จะได้ 1 คะแนน หากตอบ “ไม่ใช่” หรือ “ไม่รู้” จะได้ 0 คะแนน ประเมินระดับความรู้โดยใช้เกณฑ์ของของ Bloom (Bloom, 1971) ดังนี้

คะแนน 0 – 5 ความรู้ระดับต่ำ

คะแนน 6 – 7 ความรู้ระดับปานกลาง

คะแนน 8 – 10 ความรู้ระดับสูง

ส่วนที่ 3 แบบวัดความเชื่อด้านสุขภาพของประชาชนที่ต่อโรคโควิด 19 ถูกพัฒนาขึ้นตามแนวคิดทฤษฎีแบบแผนความเชื่อทางด้านสุขภาพของ Becker (Becker et al. ,1977) ประกอบด้วยข้อคำถามเกี่ยวกับการรับรู้โอกาสเสี่ยงของการเป็นโรค การรับรู้ความรุนแรงของโรค การรับรู้ถึงประโยชน์ของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรค การรับรู้ต่ออุปสรรคของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรค จำนวน 20 ข้อ เป็นแบบเลือกตอบ โดยมีตัวเลือก 5 ระดับคือ “เห็นด้วยมากที่สุด” “เห็นด้วยมาก” “เห็นด้วยปานกลาง” “เห็นด้วยน้อย” หรือ “เห็นด้วยน้อยที่สุด” กำหนดให้ระดับคะแนนจาก 5 – 1 คะแนน สำหรับคำถามเชิงบวก ข้อคำถามเชิงลบในคะแนนตรงข้าม ประเมินระดับความเชื่อทางด้านสุขภาพโดยใช้เกณฑ์ของ Best (Best, 1977) ดังนี้

ค่าคะแนน 1.00 - 2.33 ความเชื่อด้านสุขภาพระดับต่ำ

ค่าคะแนน 2.34 - 3.66 ความเชื่อด้านสุขภาพระดับปานกลาง

ค่าคะแนน 3.67 - 5.00 ความเชื่อด้านสุขภาพระดับสูง

ส่วนที่ 4 แบบประเมินพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ประกอบด้วยข้อคำถามทั้งหมด 21 ข้อ โดยมีตัวเลือก 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยให้คะแนนระหว่าง 5 ถึง 1 ตามลำดับ ประเมินระดับพฤติกรรมโดยใช้เกณฑ์ Best (Best , 1977) ดังนี้

ค่าคะแนน 1.00 - 2.33 พฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ระดับต่ำ

ค่าคะแนน 2.34 - 3.66 พฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ระดับปานกลาง

ค่าคะแนน 1.00 - 2.33 พฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ระดับต่ำ

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

ตรวจสอบความตรงของเนื้อหาของแบบสอบถาม โดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านสาธารณสุขในสถานพยาบาล และสถานศึกษา ได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item – Objective Congruence หรือ IOC) อยู่ในช่วง 0.67-1.00 และหาความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้านความรู้โดยใช้สูตร KR-20 ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.80 และแบบสอบถามด้านทัศนคติด้านแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ และพฤติกรรมโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.78 และ 0.82

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ปัจจัยส่วนบุคคล ความรู้ ความเชื่อด้านสุขภาพ และพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ อาชีพ การสัมผัสผู้ที่มีความเสี่ยง และการไปสถานที่เสี่ยง กับพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 โดยใช้สถิติไคสแควร์ (Chi-square)
3. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ และความเชื่อทางด้านสุขภาพต่อโรคโควิด19 โดยใช้สถิติสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson product moment correlation)

การพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้มีการพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่างโดยมีการชี้แจงข้อมูลต่อไปนี้ 1) ชื่อและข้อมูลเกี่ยวกับผู้วิจัย 2) วัตถุประสงค์และประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3) ไม่มีการระบุชื่อของผู้ตอบแบบสอบถามในแบบสอบถาม 4) การเก็บรักษาข้อมูลเป็นความลับ และ 5) การเสนอผลงานวิจัยในภาพรวม

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1) ปัจจัยส่วนบุคคล

ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 161 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (ร้อยละ 54.0) อยู่ในช่วงอายุ 20 – 30 ปี (ร้อยละ 64.6) กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีสถานภาพโสด (ร้อยละ 80.1) รองลงมา คือ สมรส (ร้อยละ 16.8) ประกอบอาชีพพนักงานบริษัทเอกชน (ร้อยละ 45.9) และมีรายได้มากกว่า 11,001 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 28.6) ส่วนใหญ่ไม่ได้สัมผัสกับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคโควิด19 (ร้อยละ 81.4) และส่วนใหญ่เดินทางไปสถานบันเทิงมากที่สุด (ร้อยละ 68.3) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง (n=161)

	ปัจจัยส่วนบุคคล	จำนวน	ร้อยละ
เพศ			
	ชาย	87	54.0
	หญิง	74	46.0
อายุ			
	20 – 30 ปี	104	64.6
	31 – 40 ปี	11	6.8
	41 – 50 ปี	17	10.6
	51 – 60 ปี	6	3.7
	61 ปีขึ้นไป	23	14.3
สถานภาพ			
	โสด	129	80.1
	สมรส	27	16.8
	หย่าร้าง/แยกกันอยู่	2	1.2
	หม้าย	3	1.9

ตารางที่ 1 ตารางแสดงข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง (n=161) (ต่อ)

ปัจจัยส่วนบุคคล	จำนวน	ร้อยละ
อาชีพ		
ไม่ได้ทำงาน	6	3.7
นักเรียน/นักศึกษา	47	29.2
ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ	12	7.5
พนักงานบริษัทเอกชน	74	45.9
ค้าขาย	12	7.5
เกษตรกร	10	6.2
รายได้		
ได้รับจากลูกหลาน	5	3.1
ต่ำกว่า 3,000 บาท/เดือน	38	23.6
3,001 – 5,000 บาท/เดือน	21	13.1
5,001 – 7,000 บาท/เดือน	16	9.9
7,001 – 9,000 บาท/เดือน	19	11.8
9,001 – 11,000 บาท/เดือน	16	9.9
มากกว่า 11,001 บาท/เดือน	46	28.6
อาศัยอยู่ร่วมกับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคโควิด 19		
ไม่มี	131	81.4
มี	30	18.6
ไปสถานที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด19 (N = 161) (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
ตลาด	86	53.4
ห้างสรรพสินค้า	43	26.7
ร้านสะดวกซื้อ	61	37.8
วัด	40	24.8
ร้านอาหาร	42	26.0
ที่ทำงาน/บริษัท	79	49.0
โรงเรียน/มหาวิทยาลัย	46	28.5
Fitness	8	4.9
โรงพยาบาล/รพ.สต.	27	73.0
สถานบันเทิง	110	68.3
อื่นๆ	0	0.0

2) ความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด 19

จากการศึกษา พบว่า ระดับความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด 19 ของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับความรู้ในระดับสูง ร้อยละ 67.1 รองลงมา มีความรู้ระดับปานกลาง ร้อยละ 23.6 และความรู้ระดับต่ำ ร้อยละ 9.3 ($\bar{X} = 8.47$, S.D. = 2.42) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของระดับความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด 19 ของประชาชน ในอำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (n = 161)

ระดับความรู้	จำนวน	ร้อยละ
ต่ำ (0 – 5 คะแนน)	15	9.3
ปานกลาง (6 – 7 คะแนน)	38	23.6
สูง (8 – 10 คะแนน)	108	67.1

หมายเหตุ $\bar{X} = 8.47$, S.D. = 2.42

และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ด้านความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคที่ตอบผิดมากที่สุด คือ วัคซีนโควิด 19 สามารถป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด 19 อย่างสมบูรณ์ จำนวน 89 คน คิดเป็นร้อยละ 55.3 รองลงมาคือบุคคลที่เคยติดเชื้อโรคโควิด 19 แล้วจะไม่มีโอกาสติดเชื้อโรคโควิด 19 ได้อีกครั้ง จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 32.9

3) ความเชื่อด้านสุขภาพต่อโรคโควิด 19

จากการศึกษาพบว่า ระดับความเชื่อด้านสุขภาพของประชาชนที่ต่อโรคโควิด 19 ของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับความเชื่อด้านสุขภาพระดับสูง ร้อยละ 91.3 รองลงมา มีความเชื่อด้านสุขภาพระดับปานกลาง ร้อยละ 8.7 ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.49) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของระดับความเชื่อด้านสุขภาพของประชาชนที่มีต่อโรคโควิด 19 ในอำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (n = 161)

ระดับความเชื่อด้านสุขภาพ	จำนวน	ร้อยละ
ต่ำ (20 – 46.66 คะแนน)	0	0.0
ปานกลาง (46.67 – 73.33 คะแนน)	14	8.7
สูง (73.34 – 100 คะแนน)	147	91.3

หมายเหตุ $\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.49

3.1 การรับรู้โอกาสเสี่ยงของการเป็นโรคโควิด 19

การรับรู้โอกาสเสี่ยงของการติดเชื้อโรคโควิด 19 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีระดับการรับรู้โอกาสเสี่ยงอยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 89.9) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเป็นรายข้อ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้โอกาสเสี่ยงของการเป็นโรคสูงในประเด็น “การไม่สวมหน้ากากอนามัยทำให้มีโอกาสเสี่ยงในการติดเชื้อโรคโควิด 19” ($\bar{X} = 4.45, S.D. = 0.81$) รองลงมาคือ “การอยู่ในสถานที่แออัด และมีอากาศไม่ถ่ายเทมีโอกาสเสี่ยงในการติดเชื้อโรคโควิด 19” ($\bar{X} = 4.38, S.D. = 0.75$) และกลุ่มตัวอย่างการรับรู้โอกาสเสี่ยงของการเป็นโรคน้อยในประเด็น “การสัมผัสสิ่งต่างๆ ในพื้นที่สาธารณะ เช่น ราวบันได ลูกบิดประตู โต๊ะ และเก้าอี้ เป็นต้น แล้วไม่ล้างมือ มีโอกาสเสี่ยงในการติดเชื้อโรคโควิด 19” ($\bar{X} = 2.93, S.D. = 0.28$)

3.2 การรับรู้ความรุนแรงของโรค

การรับรู้ความรุนแรงของการติดเชื้อโรคโควิด 19 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีระดับการรับรู้ความรุนแรงอยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 82.46) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเป็นรายข้อ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ความรุนแรงของการเป็นโรคสูงในประเด็น “โรคโควิด 19 อาจมีความรุนแรงถึงขั้นทำให้เสียชีวิตได้” ($\bar{X} = 4.58, S.D. = 0.84$) รองลงมา คือ “ผู้ที่ติดเชื้อโรคโควิด 19 อาจไม่แสดงอาการรุนแรง แต่นำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนในระบบทางเดินหายใจได้” ($\bar{X} = 4.25, S.D. = 0.73$) และกลุ่มตัวอย่างการรับรู้ความรุนแรงของการเป็นโรคน้อยในประเด็น “ผู้ป่วยส่วนมากมีอาการไม่ได้กลืนและลิ้นไม่รับรส” ($\bar{X} = 3.48, S.D. = 0.28$)

3.3 การรับรู้ถึงประโยชน์ของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคโควิด 19

การรับรู้ถึงประโยชน์ของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคโควิด 19 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีระดับการรับรู้ถึงประโยชน์ อยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 80.7) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเป็นรายข้อ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ประโยชน์ของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคสูงในประเด็น คือ “การหลีกเลี่ยงไปสถานที่ที่มีความแออัด จะชะลอการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19” ($\bar{X} = 4.43, S.D. = 0.85$) รองลงมา คือ “การติดตามข่าวสารเกี่ยวกับการป้องกันตนเองจากโรคโควิด-19 จะช่วยให้ตนเองสามารถป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด19 ได้อย่างถูกต้อง” ($\bar{X} = 3.48, S.D. = 0.24$) และกลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ประโยชน์ของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคน้อยในประเด็น “การไม่สวมหน้ากากอนามัย ก็สามารถดำเนินชีวิตตามปกติได้” ($\bar{X} = 2.25, S.D. = 0.16$)

3.4 การรับรู้ต่ออุปสรรคของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคโควิด 19

ระดับทัศนคติแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพด้านการรับรู้ต่ออุปสรรคของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคโควิด 19 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีระดับการรับรู้ต่ออุปสรรคอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 76.24) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเป็นรายข้อ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ต่ออุปสรรคของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคสูงในประเด็น คือ ความประมาทจากการใช้ชีวิตและสิ่งของร่วมกับสมาชิกในครอบครัวหรือบุคคลใกล้ชิด เช่น ช้อน ส้อม ทำให้มีโอกาสเกิดการติดเชื้อโควิด 19 ($\bar{X} = 4.25, S.D. = 0.86$) รองลงมา คือ “หน้ากากอนามัยและเจลแอลกอฮอล์มีราคาที่สูงขึ้น ทำให้ประชาชนบางกลุ่มที่ไม่มีเงินเพียงพอไม่ได้รับการป้องกันตัวเองในเบื้องต้น และนำมาซึ่งการติดเชื้อเพิ่มขึ้น” ($\bar{X} = 3.57, S.D. = 0.26$) และกลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ต่ออุปสรรคของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคน้อยในประเด็น “ท่านคิดว่าอาการข้างเคียงจากการฉีดวัคซีนทำให้คนส่วนมากไม่เลือกเข้ารับการฉีดวัคซีน” ($\bar{X} = 2.46, S.D. = 0.13$)

4) พฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19

จากการศึกษาพบว่า ระดับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับพฤติกรรมในระดับสูง ร้อยละ 97.5 รองลงมาระดับปานกลางร้อยละ 2.4 ตามลำดับ ($\bar{X} = 4.45, S.D. = 0.57$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวนและร้อยละของระดับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ของประชาชน ในอำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (n = 161)

ระดับพฤติกรรม	จำนวน	ร้อยละ
ต่ำ (21 – 49 คะแนน)	0	0.00
ปานกลาง (50 – 78 คะแนน)	7	2.48
สูง (79 – 100 คะแนน)	154	97.52

หมายเหตุ $\bar{X} = 4.45$, S.D. = 0.57

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพฤติกรรมเป็นรายข้อ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีพฤติกรรมที่ถูกต้องในประเด็น “การสวมหน้ากากอนามัยทุกครั้งเมื่ออยู่ในที่สาธารณะ” ($\bar{X} = 4.45$, S.D. = 0.84) รองลงมา คือ “การหลีกเลี่ยงการใช้ของร่วมกับผู้อื่น เช่น แก้วน้ำ หลอดดูด ซ้อน ส้อม เป็นต้น” ($\bar{X} = 4.36$, S.D. = 0.71) และมีพฤติกรรมที่ไม่ถูกต้องที่สุด คือ “ท่านได้ใช้หน้ากากอนามัยขึ้นเดิมซ้ำกันเป็นเวลาหลายวัน” ($\bar{X} = 3.48$, S.D. = 0.35) รองลงมา คือ “หากไม่ได้ใช้หน้ากากอนามัย ท่านจะเอาไปไว้ที่ใดบ้าง” ($\bar{X} = 3.34$, S.D. = 0.26) และ “ท่านเดินทางไปยังสถานที่ที่แออัด ผู้คนพลุกพล่านและสถานที่ปิด” ($\bar{X} = 3.98$, S.D. = 0.39)

5. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 พบว่า อายุ และอาชีพ มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($\chi^2 = 30.363$ และ $\chi^2 = 11.808$) ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด19 ของประชาชน ในอำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (n = 161)

ปัจจัยส่วนบุคคล	χ^2	df	p-value
เพศ	1.183	1	0.277
อายุ	13.722 ^a	4	0.008*
สถานภาพ	4.994	3	0.172
อาชีพ	12.494 ^a	5	0.029*
รายได้	9.119	6	0.167
อาศัยอยู่ร่วมกับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด19	0.230	1	0.631
การไปสถานที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด19	4.356	13	0.958

หมายเหตุ ^aสถิติทดสอบไคสแควร์ *มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ความเชื่อด้านสุขภาพ กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ของประชาชน ในเขตอำเภอฝักไ้ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า ทศคนคดีมีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับต่ำกับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ <0.001 ($r = 0.478$) ส่วนความรู้ไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ความเชื่อด้านสุขภาพ กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ของประชาชน ในอำเภอฝักไ้ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ($n = 161$)

ตัวแปร	พฤติกรรมการป้องกันโรค	
	ค่าสหสัมพันธ์	p-value
ความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด 19	0.026	0.458
ความเชื่อด้านสุขภาพต่อโรคโควิด 19	0.478**	$<0.001^*$

หมายเหตุ ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$

อภิปรายผล

ความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด 19 ส่วนใหญ่มีระดับความรู้ในระดับสูง (ร้อยละ 67.1) อภิปรายได้ว่า ถึงแม้ว่าโรคโควิด 19 เป็นโรคอุบัติใหม่และล่าสุดได้กลายเป็นโรคประจำถิ่น และกระทรวงสาธารณสุขได้มีการเสนอข่าวสารข้อมูลความรู้ และการป้องกันโรคอีกทั้งมีการณรงค์ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนเข้าใจในรูปแบบในการใช้ชีวิตวิถีปกติใหม่ ในการใช้ชีวิตใกล้เคียงในรูปแบบการดำเนินชีวิตแบบปกติ และนอกจากนี้ยังพบว่า มีอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ที่ร่วมรณรงค์ให้ความรู้ในการป้องกันโควิด 19 แก่ประชาชนในตำบลต่าง ๆ อีกทั้งอาจได้รับความรู้จากแหล่งอื่น เช่น เจ้าหน้าที่ทางการแพทย์และสาธารณสุข การบอกต่อในครอบครัว หรือ ได้รับความรู้ทาง สื่อสังคมออนไลน์ส่งผลให้ประชาชนส่วนใหญ่มีความรู้ในระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ญัฐวรรณ คำแสน (2564) ที่พบว่า ระดับความรู้โรคโควิด 19 ของประชาชนที่อยู่ในเขตอำเภออุทงจังหวัดสุพรรณบุรีอยู่ในระดับมาก เนื่องจากให้ข้อมูลข่าวสารจากศูนย์บริหารสถานการณ์โควิด-19 (ศบค.) ที่ได้ให้ข้อมูลข่าวสารในทุกช่องทาง รวมถึงข้อมูลข่าวสารในชุมชน จาก อสม. ผู้นำชุมชน หรือนโยบายระดับชาติจากกระทรวงสาธารณสุข แต่ยังมีประเด็นที่ประชาชนยังขาดความเข้าใจที่ถูกต้อง ในเรื่องวัคซีนโควิด 19 สามารถป้องกันได้ 100% และการที่บุคคลที่เคยติดเชื้อโรคโควิด 19 แล้วจะไม่มีโอกาสติดเชื้อโรคโควิด 19 ได้อีกครั้ง ดังนั้นการให้ความรู้ยังคงมีความสำคัญในการที่มีพฤติกรรมการป้องกันโรคที่ถูกต้อง รวมถึงการส่งเสริมให้ประชาชนมีความรอบรู้ด้านสุขภาพ (Health literacy) ยังคงมีความสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลข่าวสารที่ได้รับ และตัดสินใจด้านสุขภาพที่เหมาะสมได้ด้วยตนเอง

ความเชื่อด้านสุขภาพของประชาชนที่มีต่อโรคโควิด 19 ส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 91.3) โดยกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการรับรู้โอกาสเสี่ยง การรับรู้ความรุนแรง การรับรู้ประโยชน์ของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคโควิด 19 อยู่ในระดับสูง อภิปรายได้ว่า ในช่วงการระบาดของโรคโควิด 19 ได้มีความรุนแรง โดยแสดงได้จากจำนวนผู้ติดเชื้อ และจำนวนผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก ถึงแม้จะมีการได้รับวัคซีนแต่ก็ยังคงมีโอกาสติดเชื้อ ทำให้ประชาชนยังคงทราบถึงประโยชน์จากการใช้หน้ากากอนามัย หลีกเลี่ยงการไปที่สาธารณะ อีกทั้งกระทรวงสาธารณสุข และ ศบค. ได้มีกลยุทธ์ในการให้ประชาชนปรับตัวเข้าสู่การดำเนินชีวิตวิถีใหม่ (New normal) เช่น การสวมใส่หน้ากากอนามัย การล้างมืออย่างถูกวิธี ไม่ใช่ของส่วนตัวร่วมกับผู้อื่น หลีกเลี่ยงการอยู่ในสถานที่แออัด ไม่อยู่ใกล้ชิดกับผู้ป่วยที่มีอาการหวัด ไอ และจาม รวมถึงการเว้นระยะห่างระหว่างบุคคล จึงทำให้มีระดับทัศนคติอยู่ในระดับสูง

ระดับความเชื่อด้านสุขภาพในการรับรู้โอกาสเสี่ยง การรับรู้ความรุนแรง การรับรู้ประโยชน์ของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคโควิด 19 ของกลุ่มตัวอย่างอยู่ระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พันัชญา ชันติจิตร และคณะ (2564) เรื่อง แบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพในการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ของประชาชน ในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า เมื่อบุคคลเกิดการรับรู้ความรุนแรงของโรค หรือการเจ็บป่วยแล้ว จะมีผลทำให้บุคคลปฏิบัติตามคำแนะนำเพื่อการป้องกันโรค อภิปรายได้ว่า การรณรงค์ให้ผ่านสื่อประชาสัมพันธ์ต่างๆ ให้การรับรู้ความรุนแรง การเกิดภาวะแทรกซ้อนถึงแก่ชีวิต ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นหากปฏิบัติไม่เหมาะสม รวมถึงประโยชน์ในการปฏิบัติตนในการป้องกันโรค บุคคลนั้นจะมีพฤติกรรมการป้องกันเกิดขึ้นและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพให้เป็นไปได้ในทิศทางที่ดีและเหมาะสม

การรับรู้ต่ออุปสรรคของการปฏิบัติเพื่อป้องกันโควิด 19 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับการรับรู้ต่ออุปสรรคอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 76.24) ซึ่งเป็นการรับรู้ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยของบุคคลในทางลบ ได้แก่ ค่าใช้จ่าย หรือผลที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติกิจกรรมบางอย่าง หรือพฤติกรรมนั้นขัดกับอาชีพ หรือการดำเนินชีวิตประจำวันจะมีผลทำให้บุคคลปฏิบัติตามคำแนะนำเพื่อการป้องกันโรค สอดคล้องกับงานของ พันัชญา ชันติจิตร และคณะ (2564) พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับการรับรู้ต่ออุปสรรคอยู่ในระดับปานกลาง โดยพบว่า เกิดอุปสรรคจากการที่หน้ากากอนามัยและเจลแอลกอฮอล์มีราคาที่สูง ทำให้ประชาชนบางกลุ่มที่ไม่มีเงินเพียงพอในนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ทำให้บุคคลนั้นไม่ได้รับการป้องกันตัวเองในเบื้องต้น และนำมาซึ่งการติดเชื้อโรคโควิด 19 เพิ่มขึ้น ดังนั้นรัฐจึงต้องมีการสนับสนุนในเรื่องหน้ากากอนามัยและเจลแอลกอฮอล์ หรือมีการควบคุมราคาไม่ให้มีราคาสูง เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 ต่อไป

พฤติกรรมป้องกันโรคโควิด 19 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับพฤติกรรมในระดับสูง (ร้อยละ 97.5) อภิปรายได้ว่า กลุ่มตัวอย่างมีการป้องกันตนเองจากการติดเชื้อ โดยการใช้หน้ากากอนามัยเมื่อไปยังสถานที่สาธารณะ เนื่องจากรัฐได้มีการรณรงค์เรื่องพฤติกรรม New normal ได้ปรับพฤติกรรมของประชาชนได้ปฏิบัติให้เป็นนิสัย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ธาณี กล่อมใจ และคณะ (2563) ที่พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีพฤติกรรมในระดับสูงในการใส่หน้ากากอนามัยเมื่อไปยังที่สาธารณะทุกครั้ง แต่ข้อที่ยังมีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสม คือ การใช้

หน้ากากอนามัยขึ้นเดิมซ้ำกันเป็นเวลาหลายวัน และการนำหน้ากากอนามัยเอาไปไว้ที่ใต้คาง ซึ่งต้องมีการเน้นย้ำในพฤติกรรมนี้กับประชาชนให้ปฏิบัติให้ถูกต้อง ในการเปลี่ยนหน้ากากอนามัยทุกวัน และไม่ให้นำหน้ากากอนามัยนำไปไว้บริเวณใต้คาง เพราะเป็นจุดที่สัมผัสเชื้อโรคตลอดทั้งวัน ทำให้เชื้อไวรัสโควิด 19 สามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านจมูกและปากได้

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ได้แก่ อายุ และอาชีพ มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความเชื่อด้านสุขภาพต่อโรคโควิด 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ <0.001 ($r = 0.478$) อภิปรายได้ว่า อายุที่แตกต่างกันจะทำให้พฤติกรรมป้องกันโรคที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้ที่มีอายุมากกว่ามีแนวโน้มที่จะมีพฤติกรรมการป้องกันสุขภาพที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของปิยะนันท์ เรือนคำ และคณะ (2565) ซึ่งพบว่าอายุมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 และอาชีพมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเรื่องความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิดในประเทศเอธิโอเปียของ Daba et al. (2022) ที่พบว่า อาชีพมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 อภิปรายได้ว่า หากประชาชนทำงานในสถานที่เสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อจะมีการป้องกันตนเอง ซึ่งในการศึกษานี้ประชาชนได้ประกอบอาชีพโรงงานอุตสาหกรรมและมีความเสี่ยงสูงในการสัมผัสเชื้อ ย่อมจะมีการป้องกันตนเองจากโรค ดังนั้นควรมีการรณรงค์การป้องกันโรคและการปฏิบัติตนในกลุ่มอาชีพในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อลดการแพร่ระบาดของเชื้อไปยังครอบครัวและชุมชน ส่วนปัจจัยด้านความเชื่อด้านสุขภาพมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการป้องกันโรค ซึ่งจากการศึกษา พบว่า หากบุคคลรับรู้ว่าตนเองมีโอกาสเสี่ยงต่อโรคนั้นมากหรือน้อยเพียงใด มีการรับรู้ความรุนแรงว่าโรคโควิด 19 ทำให้เกิดความรุนแรง หรือเกิดภาวะแทรกซ้อนถึงแก่ชีวิต มีการรับรู้ถึงประโยชน์ในการป้องกันตนเอง และพร้อมจะปฏิบัติตนหากพบว่า มีประโยชน์มากกว่าอุปสรรค บุคคลนั้นย่อมจะมีพฤติกรรมป้องกันเกิดขึ้นและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพให้เป็นไปในทิศทางที่ดีและเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของณัฐวรรณ คำแสน (2564), รัชชชัย ยืนยาว และคณะ (2564) และพนัชญา ชันติจิตร และคณะ (2564) โดยหากประชาชนมีความเชื่อด้านสุขภาพที่ดีจะนำไปสู่พฤติกรรมการป้องกันโรค และการปฏิบัติตนที่ถูกต้องเหมาะสมได้ในที่สุด

สรุป

ความเชื่อด้านสุขภาพที่ดีจะนำไปสู่พฤติกรรมการป้องกันโรคถูกต้อง ดังนั้นควรมีการรณรงค์ผ่านเจ้าหน้าที่สาธารณสุข อสม. สื่อสังคมออนไลน์ที่น่าเชื่อถือ จะช่วยทำให้เกิดการรับรู้โอกาสเสี่ยง การรับรู้ความรุนแรง การรับรู้ประโยชน์ในการป้องกันโรคเพิ่มมากขึ้น และลดการรับรู้ต่ออุปสรรค ส่งเสริมการรับรู้ความสามารถในการป้องกันโรค และนำไปสู่พฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด 19 ให้กับประชาชนโดยผ่านกิจกรรมการส่งเสริมและป้องกันโรคโควิด 19 ที่เหมาะสมเฉพาะกลุ่มอายุ และกลุ่มอาชีพ ส่วนการรับรู้อุปสรรคต่อการป้องกันโรค พบว่าประชาชนมีข้อจำกัดในการเข้าถึงหน้ากากอนามัย และแอลกอฮอล์เจล ดังนั้นกระทรวง

สาธารณสุขและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ควรมีการสนับสนุนเรื่องหน้ากากอนามัย และแอลกอฮอล์เจลกับประชาชน หรือมีการควบคุมราคาไม่ให้สูงเกินไป เพื่อให้ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ ซึ่งจะมีผลในการป้องกันโรคของตนเอง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1) พฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดรูปแบบกิจกรรมการดูแลสุขภาพและการป้องกันโรค โดยมีการส่งเสริมทัศนคติทางบวก การรับรู้ด้านสุขภาพที่ดีกับประชาชน และการปฏิบัติตนในการป้องกันโรคที่ถูกต้อง เพื่อลดการแพร่ระบาดของโรค 2) ผลจากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทางด้านสาธารณสุข ในการวางแผนนโยบาย และกำหนดมาตรการในการควบคุมราคหน้ากากอนามัย และแอลกอฮอล์เจล เพื่อให้ประชาชนสามารถเข้าถึงทรัพยากร ซึ่งจะมีผลในการป้องกันโรคของตนเอง

ข้อเสนอในการศึกษาครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 เชิงลึกในเฉพาะกลุ่มอาชีพ หรือกลุ่มอาชีพที่มีความเสี่ยงสูงในการสัมผัสเชื้อ เกี่ยวกับการปฏิบัติตนในการป้องกันโรคในแต่ละบุคคล และควรมีการออกแบบการทดลองโดยใช้ทฤษฎีความรู้ทางสุขภาพ รวมถึงทำการศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมการป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด19 เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนารูปแบบกิจกรรมการส่งเสริมและป้องกันโรคโควิด19 ที่เหมาะสมเฉพาะกลุ่มอาชีพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้อำนวยการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลท่าดินแดง เจ้าหน้าที่ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ผู้ใหญ่บ้าน และอสม. หมู่ 6 ตำบลท่าดินแดง อำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา รวมถึงกลุ่มตัวอย่างทุกท่าน ที่เป็นผู้ร่วมในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมโรค. (2565). สถิติและรายงานจำนวนผู้ป่วยโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ของประเทศไทย.

สืบค้นจาก <https://ddc.moph.go.th/covid19dashboard/dashboard/main>.

กระทรวงสาธารณสุข. (2565). แผนและมาตรการการบริหารจัดการสถานการณ์โรคโควิด 19

สู่โรคประจำถิ่น. สืบค้นจาก <https://dmsic.moph.go.th/index/detail/8962>.

ณัฐวรรณ คำแสน. (2564). ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมในการป้องกันตนเองจากการติดเชื้อไวรัสโควิด-19 ของประชาชนในเขตอำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี. วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระจอมเกล้า จังหวัดเพชรบุรี, 4(1), 33-48.

- ธวัชชัย ยืนยาว, ไวยพร พรหมวงศ์, และกัลยารัตน์ คาคตสนิท. (2564). ความรู้ทัศนคติและพฤติกรรมการป้องกันการติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (COVID-19) ของนักศึกษาพยาบาลในเครือข่ายวิทยาลัยพยาบาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารการแพทย์โรงพยาบาลอุดรธานี*, 29(2), 204-13.
- ธานี กล่อมใจ, จรรยา แก้วใจบุญ, และทักษิภา ชัชรรัตน์. (2563). ความรู้และพฤติกรรมของประชาชนเรื่องการป้องกันตนเองจากการติดเชื้อไวรัสโคโรนา สายพันธุ์ใหม่ 2019. *วารสารการพยาบาลการสาธารณสุข และการศึกษาศาสตร์*, 21(2), 29-39.
- ปิยะนันท์ เรือนคำ, สุคนธา คงสีล, สุขุม เข้มมตน์, ยวนุช สัตยสมบุรณ์, และเพ็ญพักตร์ อุทิศ. (2565). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ของประชากรผู้ใหญ่: กรณีศึกษาเขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, 31(2), 247-259.
- พนัชญา ชันติจิตร, ไวยพร พรหมวงศ์, ชนุกร แก้วมณี, และอภิรดี เจริญนุกูล. (2564). แบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพในการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ของประชาชนในจังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี สรรพสิทธิประสงค์*, 5(2), 39-53.
- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลท่าดินแดง. (2565). ข้อมูลจำนวนประชากร จำนวนยอดผู้ติดเชื้อและผู้เสียชีวิต. สืบค้นจาก <https://healthserv.net/>
- สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. (2565). ศูนย์ปฏิบัติการตอบโต้ภาวะฉุกเฉินด้านสาธารณสุข (PH EOC) กรณีโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19). สืบค้นจาก <https://ayo.moph.go.th/main/index.php>
- อัมมัตตา ไชยกาญจน์ และปฎิภาณี ชันธโกค. (2566). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ในประชาชนเขตเทศบาลนครพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารสถาบันบำราศนราดูร*, 17(2), 84-94
- Becker, M. H., Maiman, L. A., Kirscht, J. P., Haefner, D. P., & Drachman, R. H. (1977). The health belief model and prediction of dietary compliance: A field experiment. *Journal of Health and Social Behavior*, 18(4), 348-366.
- Best, J. W. (1971). *Research in education* (3rd ed). New Jersey: Prentice Hall.
- Bloom, B. S. (1971). *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. New York: McGraw-Hill.
- Daba, A., Yazew, T., Kibr, G., & Gebissa, B. (2022). Attitude and preventive practice (KAP) towards COVID-19 pandemic among the residents from Western Oromia, Ethiopia: Cross-sectional survey study. *Journal of Biology and Today's World*, 11(2), 1-4.
- Yamane, T. (1973). *Statistics: an introductory analysis*. New York: Harper & Row.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโพรไบโอติกจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวก่ำผสมธัญพืช

รัตนภัทร มะโนชัย¹ นภาพันท์ โชคอำนวยพร² กาญจนา รัตนธีรวิเชียร³ ณัฐมา เหล่ากุลดิลก^{4*}

Received : November 27, 2023

Revised : August 9, 2024

Accepted : August 13, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาคุณภาพของโยเกิร์ตที่ผลิตจากข้าว 2 ชนิด คือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวก่ำ โดยผ่านแปรรูปส่วนข้าวที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ประกอบด้วยข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 100 สูตรที่ 2 ประกอบด้วยข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อข้าวเหนียวก่ำ ร้อยละ 50 ต่อ 50 และสูตรที่ 3 ประกอบด้วยข้าวเหนียวก่ำร้อยละ 100 ทั้งนี้ ได้ผสมธัญพืช ได้แก่ งาดำ ถั่วดำ ถั่วเหลือง และถั่วแดง ในปริมาณที่เท่ากัน ทุกสูตร ทำการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ความเหนียวติด (Adhesiveness) การเกาะติดกันของอนุภาคภายในอาหาร (Cohesiveness) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เทียบกับกรดแลคติก ปริมาณแบคทีเรียแลคติก ปริมาณยีสต์รา ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และความชอบทางประสาทสัมผัส จากผลการทดลองพบว่า โยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่า L^* และค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) สูงที่สุด ส่วนโยเกิร์ตจากข้าวเหนียวก่ำมีค่า Adhesiveness, Cohesiveness, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด แต่มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกรวมถึงปริมาณกรดแลคติกน้อยที่สุด โดยโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกอยู่ระหว่าง $3.0-3.5 \times 10^6$ โคโลนีต่อกรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ ยังมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

คำสำคัญ: ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวก่ำ โพรไบโอติก โยเกิร์ต

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาบัณฑิตกรรมและธุรกิจอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

อีเมล: rattanapath@g.lpru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการประกอบอาหารและการจัดการงานครัว คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

อีเมล: napapan.c@chandra.ac.th

³ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการจัดการธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

อีเมล: delphijava@g.lpru.ac.th

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาบัณฑิตกรรมและธุรกิจอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

อีเมล: nutcha@lpru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: nutcha@lpru.ac.th

PRODUCT DEVELOPMENT OF PROBIOTIC YOGURT FROM RICEBERRY RICE AND BLACK GLUTINOUS RICE MIXED WITH CEREALS

Rattanapath Manochai¹ Napapan Chokumnoyporn² Kanjana Ruttanateerawichien³
Natcha Laokuldilok^{4*}

Abstract

This research studied the quality of yogurt produced from two types of rice, Riceberry rice, and black glutinous rice. The experiment involved varying the proportion of rice used in three formulas: formula 1 consisted of 100% Riceberry rice, formula 2 comprised a 50:50 ratio of Riceberry rice to black glutinous rice, and formula 3 consisted of 100% black glutinous rice. Additionally, cereals including black sesame, black bean, soybean, and red bean were added in equal proportions to each formula. The products were analyzed for qualities including color values (L^* , a^* , and b^*), texture characteristics (adhesiveness and cohesiveness), pH value, lactic bacteria content, yeast and mold count, total phenolic content, antioxidant capacity, and sensory evaluation. The results indicated that yogurt made from Riceberry rice exhibited the highest values for brightness (L^*) and redness ($+a^*$). Conversely, yogurt derived from black glutinous rice demonstrated the highest values for adhesiveness, cohesiveness, total phenolic content, and antioxidant capacity but had the lowest amounts of lactic bacteria and lactic acid content. All yogurt formulas contained lactic bacteria amounts ranging between 2.5 and 3.5 x 10⁶ colonies per gram, a level beneficial for the human body. Moreover, the liking scores for all characteristics did not show significant differences ($p>0.05$), with the overall liking score ranging from slightly liking to moderately liking.

Keywords: Riceberry rice, Glutinous rice, Probiotic, Yogurt

¹ Lecturer of Food Innovation and Business Program, Faculty of Agricultural Technology, Lamphang Rajabhat University, e-mail: rattanapath@g.lpru.ac.th

² Lecturer of Culinary Art and Kitchen Management Program, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, e-mail: napapan.c@chandra.ac.th

³ Lecturer of Digital Business Management Program, Faculty of Management Science, Lamphang Rajabhat University, e-mail: delphijava@g.lpru.ac.th

⁴ Lecturer of Food Innovation and Business Program, Faculty of Agricultural Technology, Lamphang Rajabhat University, e-mail: nutchal@lpru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: nutchal@lpru.ac.th

บทนำ

โยเกิร์ต (Yoghurt) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 พ.ศ.2556 ได้ให้ความหมายไว้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรีย สเตรปโทค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophilus*) และแล็กโทบาซิลลัส เดลบริคคิโอ ซับสปีชีส์ บัลแกริกัส (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) หรือแล็กโทบาซิลลัส ซับสปีชีส์ อื่น โดยจุลินทรีย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลที่อยู่ในนม คือแลคโตสให้เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) ทำให้โปรตีนตกตะกอน มีลักษณะเป็นลิ่มค่อนข้างนุ่ม เนื้อสัมผัสแข็งกึ่งเหลว มีกลิ่นเฉพาะตัว มีรสชาติเปรี้ยวและมีจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือโพรไบโอติก (Probiotic) อยู่ปริมาณมาก นอกจากนี้ องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และ องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ให้คำจำกัดความของโพรไบโอติกไว้ว่า “เป็นจุลินทรีย์มีชีวิต ซึ่งถ้ามีจำนวนมากพอจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่สุขภาพได้” (FAO & WHO, 2006) ทั้งนี้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง การใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหาร ได้ระบุถึงสกุลและชนิดของจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก รวม 23 ชนิด โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นโพรไบโอติกอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria) อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ต่อสุขภาพมีทั้งในรูปแบบจุลินทรีย์เซลล์ตาย (Dead cell) และ/หรือ ส่วนประกอบของจุลินทรีย์ (Component of cell) เช่น โปรตีนของเซลล์ สารพันธุกรรมอย่างดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) ผนังเซลล์ (Cell wall) เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane หรือ Cytoplasmic membrane) ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลหลายโมเลกุล เรียกว่า เอกโซโพลีแซคคาไรด์ (Exopolysaccharide) หรือส่วนที่เป็นลิปิดหรือไขมันที่ต่อกับน้ำตาลหลายโมเลกุล เรียกว่า ลิโปโพลีแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide) หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ของเซลล์ จึงทำให้นิยามของโพรไบโอติกนั้นหมายรวมถึง จุลินทรีย์ในรูปแบบเซลล์ที่มีชีวิต รูปแบบเซลล์ตาย และส่วนประกอบของจุลินทรีย์ที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพได้ ทั้งนี้ จุลินทรีย์โพรไบโอติกมีบทบาทสำคัญต่อระบบทางเดินอาหาร โดยกรดแลคติกที่โพรไบโอติกผลิตออกมาจะทำให้สภาวะในลำไส้มีความเป็นกรดมากพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค ช่วยให้ระบบขับถ่ายมีประสิทธิภาพ ลดอัตราเสี่ยงการเกิดมะเร็งลำไส้และมะเร็งตับ (ไชยวัฒน์ ไชยสุต, 2556)

ปัจจุบัน มีการพัฒนาอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพออกจำหน่ายสู่ท้องตลาดมากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป โดยผลิตภัณฑ์นมพืชทางเลือกได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เช่น ถั่วเหลือง ข้าวโอ๊ต งา อัลมอนต์ ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีเพื่อทดแทนนมวัวได้ ทั้งนี้ จากการสืบค้นงานวิจัยพบว่า มีการนำธัญพืชหลากหลายชนิดมาพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต เช่น ข้าวสาลีเหล็ก (ภัทธร บุษพันธ์ และคณะ, 2564) ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ (ศุภศิษฐ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์ และนิอร ชุมศรี, 2558) ข้าวโพด (วิชญลักษณ์ ค่ายอง, 2550) และลูกเดือย (สุธีรา ศรีสุข, 2559)

งานวิจัยนี้ ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวกำแพงสมธัญพืช ซึ่งข้าวทั้ง 2 ชนิดมีเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลเข้ม มีรายงานที่น้ำมันรำข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถเพิ่มระดับของกลไกการต้านออกซิเดชันของตับ (Hepatic antioxidant) และลดภาวะเครียดที่เกิดจากออกซิเดชัน (Oxidative stress) ของหนูที่ถูกทำช็อกน้ำให้เป็นเบาหวาน (Posuwan et al., 2013) ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวดำมีสารสำคัญ ได้แก่ แกมมา-โอไรซานอล (Gamma oryzanol) ค่อนข้างสูง (พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์ และคณะ, 2547) ซึ่งเป็น

องค์ประกอบที่พบในส่วนของรำข้าว มีคุณสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidation) ลดระดับ LDL (Low density lipoprotein) คอเลสเตอรอล ความดันโลหิต และป้องกันการเกิดมะเร็ง นอกจากนี้ สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ที่พบในข้าวสีม่วงกลุ่มอินดิกา (Indica) มีคุณสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชัน ป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน ความผิดปกติของเมทาบอลิซึม และการติดเชื้อ (Khoo et al., 2017)

จากประโยชน์ของข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวกำลังต้น งานวิจัยนี้จึงสนใจนำข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มาพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต เสริมด้วยธัญพืชอื่น ๆ เช่น งาดำ ถั่วดำ ถั่วเหลือง และถั่วแดง โดยพืชตระกูลถั่วเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน สตารซ์ ไขมัน/น้ำมัน แร่ธาตุ วิตามิน และมีองค์ประกอบที่คุณสมบัติเชิงป้องกัน เช่น สารฟีนอลิก และโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) (Ahmed & Hasan, 2014) ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคแล้ว ยังเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากวัตถุดิบภายในประเทศ สามารถเพิ่มมูลค่าและยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้นอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโพรไบโอติกที่ผลิตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวกำลังต้นผสมธัญพืช และศึกษาคุณภาพทั้งด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานทดลองนี้ ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวกำลังต้น งาดำ ถั่วดำ ถั่วเหลือง ถั่วแดง จุลินทรีย์ Lyoflora SYAB 1 (Sacco Srl, Cadorago, ประเทศอิตาลี) ซึ่งประกอบด้วย *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* เสริมด้วยโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*

2. การเตรียมน้ำนมข้าวผสมธัญพืช

ผ่นแปรสัดส่วนข้าวแต่ละชนิดที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ประกอบด้วย 3 สูตร ได้แก่ 1) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 100 2) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อข้าวเหนียวกำลังต้น ร้อยละ 50 ต่อ 50 และ 3) ข้าวเหนียวกำลังต้น ร้อยละ 100 ส่วนธัญพืชอื่น ๆ ควบคุมปริมาณให้คงที่ กำหนดให้เติมจุลินทรีย์โพรไบโอติกเท่ากันทุกสูตรในปริมาณร้อยละ 0.07 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด ดังตารางที่ 1

นำข้าวและธัญพืชต่าง ๆ มาล้างทำความสะอาด จากนั้น แช่ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วเหลือง ในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และแช่ข้าวด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที (ใช้น้ำร้อนปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำสะอาดที่กำหนดไว้) เมื่อครบเวลา นำข้าวไปแยกน้ำออก โดยยังไม่ทิ้งน้ำแช่ข้าว นำข้าวไปนึ่งพร้อมกับธัญพืชเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการปั่นข้าวสุกและธัญพืชสุก โดยเติมน้ำแช่ข้าวและน้ำสะอาดที่เหลือลงไป ปั่นให้ละเอียดโดยใช้โถปั่นน้ำผลไม้ แล้วกรองผ่านผ้าขาวบาง

ตารางที่ 1 สูตรในการผลิตโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่ (สูตรที่ 1) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมข้าวเหนียวก่ำ (สูตรที่ 2) และข้าวเหนียวก่ำ (สูตรที่ 3) ผสมธัญพืช

วัตถุดิบ	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	17	8.5	0
ข้าวเหนียวก่ำ	0	8.5	17
งาดำ	2	2	2
ถั่วดำ	2	2	2
ถั่วเหลือง	2	2	2
ถั่วแดง	2	2	2
น้ำตาลทรายขาว	7	7	7
น้ำสะอาด	68	68	68
รวม	100	100	100

3. การผลิตโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช

นำนํ้านมข้าวผสมธัญพืชมาเติมนํ้าตาลทราย แล้วนำไปพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงที่ 43 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมจุลินทรีย์สำหรับผลิตโยเกิร์ตลงไป ใช้ทัพพีสะอาดคนให้เข้ากัน นำไปใส่ขวดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ปิดฝาให้สนิท นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 8 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

4. การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช

4.1 การวัดค่าสี (Color value)

วิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช ด้วยเครื่อง Chroma Meter (Konica Minolta รุ่น CR-400, ประเทศญี่ปุ่น) แสดงโดยค่า L^* คือมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว a^* คือสีเขียวถึงสีแดง โดย $(-a^*)$ คือค่าสีเขียว ส่วนค่า $+a^*$ คือค่าสีแดง และ ค่า $+b^*$ คือสีเหลือง ส่วน $(-b^*)$ แสดงถึงค่าสีน้ำเงิน

4.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะด้านการเกาะติดของอาหารภายในปาก (Adhesiveness) และการเกาะกันของอนุภาคภายในของผลิตภัณฑ์ (Cohesiveness)

ชั่งตัวอย่างโยเกิร์ตใส่จาน Petri dish หนัก 30 กรัม วัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Profile Analyzer ยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA.XT.Plus ใช้หัววัดขนาด 36 มิลลิเมตร กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งกำหนดให้กดตัวอย่าง 2 ครั้งแทนการเคี้ยวของผู้บริโภค (ดัดแปลงจาก Lim et al., 2019) รายงานผลในคุณลักษณะด้านการเกาะติดของอาหารภายในปาก (Adhesiveness) และการเกาะกันของอนุภาคภายในของผลิตภัณฑ์ (Cohesiveness) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า

4.3 การวัดค่าความเป็นกรด-ต่าง (ค่าพีเอช; pH)

ทำการสุ่มตัวอย่างโยเกิร์ตแต่ละสูตรมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ต่าง ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ต่าง (HANNA รุ่น HI-2210-02, ประเทศโรมาเนีย)

4.4 การวัดปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ (Titratable acidity)

ชั่งตัวอย่างโยเกิร์ต 5 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ 3 - 5 หยด แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วคำนวณร้อยละค่าความเป็นกรดเทียบกับกรดแลคติก (ดัดแปลง AOAC, 2000) ดังสมการ

$$\text{ความเป็นกรด (กรดแลคติก) (\%)} = \frac{a * b * c * d * 1000}{e * f}$$

โดย a = ปริมาตรของ 0.1 N NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

b = ปริมาตรของตัวอย่างที่ปรับ (มิลลิลิตร)

c = น้ำหนักกรดแลคติกที่ทำปฏิกิริยาสมมูลพอดีกับสารละลาย 0.1 NaOH จำนวน 1 มิลลิลิตร (0.009008 กรัม)

d = ความเข้มข้นของ NaOH (N) ที่ผ่านการ standardized

e = น้ำตัวอย่างอาหารที่ใช้ (กรัม หรือ มิลลิลิตร)

f = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Total phenolic content and antioxidant activity)

4.5.1 การเตรียมสารสกัดตัวอย่างอาหาร

ชั่งตัวอย่างหนัก 10.00 กรัม เติมน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (N-BIOTEK NB-205V, Korea) ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรอง นำสารละลายส่วนที่กรองได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (BUCHI รุ่น Rotavapor R-3, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) บันทึกน้ำหนักสารสกัดที่ได้ แล้วเจือจางด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 25 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร แล้วเก็บสารละลายในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์

4.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu's reagent method (ดัดแปลงจากทิพย์วดี โพธิ์สีทธิพรธณ และชุตินา คงจรรยา, 2563) โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 1.00 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 1.00 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 5.00 มิลลิลิตร และสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จำนวน 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่มีดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid) แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม ดังสมการ

$$C = c \times (V/m)$$

โดย C = ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัด (mg/g)

c = ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (mg/ml)

V = ปริมาตรของสารสกัด (ml)

m = น้ำหนักของสารสกัด (g)

4.5.3 การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl ด้วยวิธี DPPH assay (ดัดแปลงจากทิพย์วดี โพธิ์สีทิพพรณ และชุตินา คงจรูญ, 2563) โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่างอาหาร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 60 ไมโครลาร์ 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ในที่มืด 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ตัวอย่างควบคุมใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 100 ไมโครลิตร แทนตัวอย่างสกัด นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณร้อยละความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Scavenging ability) ดังสมการด้านล่าง

$$\text{Scavenging ability (\%)} = [(A_{\text{Control}} - A_{\text{Sample}})/A_{\text{Control}}] \times 100$$

โดย A_{Control} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม

A_{Sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างอาหาร

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria count)

ปิเปตโยเกิร์ต 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาณ 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีปั่น (Stomacher) เป็นเวลา 2 นาที เตรียมความเจือจางให้เหมาะสมในการตรวจหาเชื้อแบคทีเรียแลคติก จากนั้น ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ deMan Rogosa and Sharpe (MRS Agar) ด้วยเทคนิค Pour Plate นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ไพรัตน์ ศรีแสง และคณะ, 2550) คำนวณจำนวนแบคทีเรียแลคติกแล้วรายงานผลในหน่วยโคโลนีต่อกรัม

4.7 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (Yeast and mold count)

ปิเปตโยเกิร์ต 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาณ 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีปั่น (Stomacher) เป็นเวลา 2 นาที ทำการเจือจางที่ระดับ 10^{-2} และ 10^{-3} จากนั้นปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA Agar) ด้วยเทคนิค Pour Plate นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน คำนวณจำนวนแบคทีเรียแลคติกแล้วรายงานผลในหน่วยโคโลนีต่อกรัม (จตุพัฒน์ สมบัติ และคณะ, 2562)

4.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-point hedonic scale (1= ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomize Design, CRD) ส่วนข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Random Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การทดลองนี้ใช้ข้าว 2 ชนิดในการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวเก่า โดยผันแปรระดับข้าวเป็น 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 100 สูตรที่ 2 ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมข้าวเหนียวเก่าในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 และสูตรที่ 3 ใช้ข้าวเหนียวเก่าร้อยละ 100 กำหนดให้ใช้ธัญพืชในปริมาณเท่ากันทุกสูตร โดยหลังจากพาสเจอร์ไรส์นํ้านมข้าวผสมธัญพืชจะลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงเหลือ 42 - 45 องศาเซลเซียสก่อนเติมจุลินทรีย์ จากนั้นจึงนำไปหมักที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

ค่าสีในทอม L^* a^* และ b^* (ตารางที่ 2) พบว่า สูตรที่ 1 มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณข้าวเหนียวเก่าสูงขึ้น โดยสูตรที่ 3 มีค่าความสว่างต่ำที่สุด แต่มีค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจตุพัฒน์ สมบัติ และคณะ (2562) รายงานว่า โยเกิร์ตที่ทดแทนนมวัวด้วยข้าวฮางข้าวเหนียวดำในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างลดลง โยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่มีทิศทางของสีแดงส่วนโยเกิร์ตข้าวเหนียวดำมีสีม่วงเข้ม (ภาพที่ 1) โดยเป็นผลจากแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงสีน้ำเงิน หรือสีม่วง โดยเฉพาะในส่วนของเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ดและเยื่อชั้นแอลิวโรน (Aleurone layer) ที่มีสีม่วงจะมีแอนโทไซยานินในปริมาณมาก (Yamuangmorn & Prom-u-Thai, 2021) มีงานวิจัยระบุว่า ปริมาณแอนโทไซยานินผกผันกับค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดงถึงเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงน้ำเงิน (b^*) กล่าวคือ เมล็ดข้าวที่มีสีดำ (หรือสีม่วง) มักจะประกอบด้วยสารแอนโทไซยานินในปริมาณสูง (Chen et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ยังมีรายงานว่า เมล็ดข้าวที่มีสีน้ำตาลมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าเมล็ดข้าวที่มีสีดำ (Thuy et al., 2018) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดที่เลือกใช้

ตารางที่ 2 ค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสด้านการเกาะติดของอาหารภายในปาก (Adhesiveness) และการเกาะกันของอนุภาคภายในของผลิตภัณฑ์ (Cohesiveness) ของโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช

สูตรที่	ค่าสี			การเกาะติดของอาหารภายในปาก (g·sec)	การเกาะกันของอนุภาคภายในของผลิตภัณฑ์
	L^*	a^*	b^*		
1	27.73±0.01 ^a	6.25±0.08 ^a	2.06±0.01 ^b	-2.738±0.819 ^c	0.114±0.074 ^c
2	27.11±0.11 ^b	5.19±1.28 ^b	2.21±0.14 ^b	-5.234±1.044 ^b	0.668±0.137 ^b
3	26.95±0.19 ^b	5.14±0.10 ^b	2.23±0.05 ^a	-6.960±1.083 ^a	0.850±0.102 ^a

หมายเหตุ ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



(ก)

(ข)

(ค)

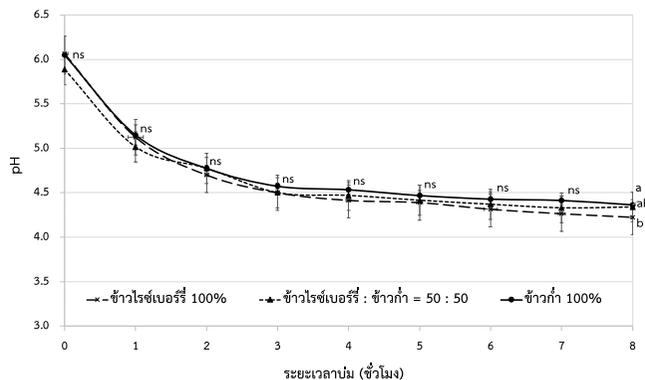
ภาพที่ 1 โยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืชจากข้าว 2 สายพันธุ์ (ก) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 100

(ข) ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวก้ำร้อยละ 50 : 50 (ค) ข้าวเหนียวก้ำร้อยละ 100

ลักษณะเนื้อสัมผัส Adhesiveness ได้จากพื้นที่ใต้กราฟมีค่าติดลบหลังจากถอนแรงกดครั้งแรก เป็นแรงที่หน่วงหัววัดก่อนถอนขึ้นไปยังตำแหน่งเดิม แสดงการยึดติดกันของอาหารกับวัตถุอื่น เช่น อาหารติดเหงือก ฟัน เพดานปาก ริมฝีปากระหว่างการรับประทานหรืออาหารติดกับอุปกรณ์แปรรูปอาหาร จากตารางที่ 2 พบว่า สูตรที่ 3 มีค่า Adhesiveness สูงที่สุด ส่วนสูตรที่ 1 มีค่าต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีทิศทางเช่นเดียวกับค่า Cohesiveness ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านการเกาะกันของอนุภาคภายในของโยเกิร์ตหรือเป็นค่าที่บ่งบอกความแข็งแรงของพันธะภายในอาหาร แล้วทำให้อาหารทนต่อแรงที่ทำการกระทำก่อนที่จะแยกออกจากกัน แสดงให้เห็นว่า สูตรที่ 3 มีความเหนียวติดและมีความสามารถในการรวมตัวกันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากโยเกิร์ตทางการค้า ซึ่งมีค่า Adhesiveness เท่ากับ $-6.56 \text{ g}\cdot\text{sec}$ และค่า Cohesiveness เท่ากับ 0.82 จะเห็นได้ว่า โยเกิร์ตข้าวสูตรที่ 3 มีค่าใกล้เคียงมากที่สุด คือมีค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness เท่ากับ $-6.96 \text{ g}\cdot\text{sec}$ และ 0.85 ตามลำดับ ทั้งนี้ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 15.4 (อุไรวรรณ วัฒนกุล และคณะ, 2561) ส่วนข้าวเหนียวจะมีปริมาณอะไมโลสอยู่น้อยมาก (ประมาณร้อยละ 0 – 5) แต่จะมีอะไมโลเพกทินเป็นองค์ประกอบอยู่ในเม็ดสตาร์ชทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) โดยอะไมโลเพกทินมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายแขนงแยกออกมา และมีโมเลกุลใหญ่กว่าอะไมโลสมาก สามารถละลายในน้ำและมีความคงตัวในสารละลาย โดยทั่วไป เมื่อเม็ดสตาร์ชได้รับความร้อนในภาวะที่มีปริมาณน้ำมาก เม็ดสตาร์ชจะพองตัวออกมากและมีอะไมโลสส่วนที่ละลายน้ำได้หลุดออกมาด้วย จะทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะข้นซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ละลายได้ของอะไมโลสและ/หรือบางส่วนของอะไมโลเพกทิน และเมื่อปล่อยให้สารละลายของเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลาตินในเซชันแล้วเย็นลง โมเลกุลของสตาร์ชบางส่วน โดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลสจะมารวมตัวกัน ตกตะกอน หรือ การคืนตัว หรือ รีโทรเกรเดชัน โดยอะไมโลสจะคืนตัวได้รวดเร็วกว่าอะไมโลเพกทินมาก โดยการคืนตัวของอะไมโลสอาจเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ส่วนการคืนตัวของอะไมโลเพกทินจะใช้ระยะเวลาในการคืนตัวนานกว่าอะไมโลส (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2557) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อกันของสายแขนงที่อยู่ด้านนอกของโมเลกุล ดังนั้น จึงส่งผลให้เมื่อเก็บรักษาโยเกิร์ตจากข้าวเหนียวก้ำผสมธัญพืชที่อุณหภูมิห้องจะยังคงมีลักษณะข้นหนืดกว่าโยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมธัญพืช (ภาพที่ 1) ทั้งนี้มีรายงานเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตที่ผลิตจากพืชตระกูลถั่ว โดยพบว่า ถั่วที่มีโปรตีนสูงจะทำให้

ให้ค่าความหนืด (Viscosity) และค่า Adhesive ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตคีเฟอร์สูงตามไปด้วย (Lim et al., 2019) เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันจำนวนมากของพันธะระหว่างโปรตีน (protein-protein bonds) ของ 2 อนุภาค ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงและมีความหนืดที่สูงขึ้น

จากการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างทุก 1 ชั่วโมงจนครบ 8 ชั่วโมง แล้วนำค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืชทั้งสามสูตรมาเขียนกราฟการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการบ่ม 0 – 8 ชั่วโมง ดังภาพที่ 2 โดยพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทั้งสามสูตรก่อนการบ่มมีค่าอยู่ระหว่าง 5.86 – 6.07 และเมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า ทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.5 โดยในช่วง 1 ถึง 3 ชั่วโมงแรก จะมีการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตข้าวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยเมื่อเปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลา พบว่า ในช่วง 0 ถึง 7 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 พบว่า สูตรที่ 3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 2 และสูตรที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 4.37 4.34 และ 4.23 ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคิดเทียบกับกรดแลคติกมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.29 – 0.39 ซึ่งสูตรที่ 3 ที่ใช้ข้าวก่ำมีปริมาณต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตข้าว 3 สูตร ระหว่างการบ่มที่ระยะเวลา 0 – 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส

จากงานวิจัยการศึกษาการอยู่รอดของแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตจากปลายข้าวหักโดยเปรียบเทียบการใช้จุลินทรีย์ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactocaseibacillus casei* และ *Lactobacillus acidophilus* พบว่า โยเกิร์ตเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 5.7 – 5.9 ซึ่งภายหลังจากหมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 4.2 – 4.6 ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.061 – 0.082 (Fawzi et al., 2022) ทั้งนี้การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นผลมาจากปริมาณกรดแลคติกและกรดอินทรีย์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก รวมถึงกิจกรรมของเมแทบอลิซึม (Metabolic activity) ของจุลินทรีย์ในกลุ่มโพรไบโอติก (Li et al., 2019; Wang et al., 2021)

ปริมาณแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 3) แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ข้าวก่ำในปริมาณที่มากขึ้น โดยปริมาณแบคทีเรียแลคติกของทั้ง 3 สูตรมีค่าอยู่ระหว่าง $3.0 \times 10^6 - 3.5 \times 10^6$ โคโลนีต่อกรัม ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา ทั้งนี้ ปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่ตรวจพบ มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดของโยเกิร์ตที่ผลิตจากนมวัว ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 พ.ศ.2556 ระบุให้มีจุลินทรีย์ที่ใช้ในกรรมวิธีการหมักคงเหลือในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อหลังการหมักไม่น้อยกว่า 10^7 โคโลนี/กรัม เนื่องมาจากการใช้น้ำนมธัญพืชทดแทนนมนมวัวนั้นปราศจากน้ำตาลแลคโตสซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแลคติก และเมื่อพิจารณาพร้อมกับปริมาณกรดแลคติก พบว่า มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดของโยเกิร์ตนมวัวที่ระบุไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) การลดลงของแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตที่ใช้ธัญพืชทดแทนนมนมสดคล้องกับการทดลองเติมสารสกัดจากถั่วเหลืองลงในโยเกิร์ตนมแพะ โดยพบว่าปริมาณแบคทีเรียแลคติกมีค่าน้อยกว่าโยเกิร์ตนมแพะดั้งเดิม (da Silva et al., 2013) อย่างไรก็ตาม ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืชจากการทดลองนี้ยังมีปริมาณสูง โดยการบริโภคจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 10^6 โคโลนี/กรัม เป็นระดับที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย (Valero-Cases et al., 2020)

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณแบคทีเรียแลคติก ปริมาณยีสต์และรา ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช

สูตร	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)	ปริมาณแบคทีเรียแลคติก ^{ns} (cfu/g)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ)
1	4.23±0.04 ^a	0.39±0.01 ^a	3.5×10^6	< 10	0.62±0.02 ^c	45.89±1.11 ^c
2	4.34±0.01 ^{ab}	0.37±0.01 ^a	3.0×10^6	< 10	0.73±0.02 ^b	63.89±4.71 ^b
3	4.37±0.02 ^b	0.29±0.03 ^b	3.0×10^6	< 10	1.09±0.12 ^a	75.03±3.18 ^a

หมายเหตุ ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการผันแปรอัตราส่วนของชนิดข้าวที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต พบว่า มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตจากข้าวเหนียวก่ำ (สูตรที่ 3) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 1.09 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม รองลงมาคือสูตรที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.73 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม ส่วนโยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ (สูตรที่ 1) มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดต่ำสุดเท่ากับ 0.62 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม ซึ่งผลของปริมาณสารประกอบ

ฟีนอลิกทั้งหมดเป็นไปในทิศทางเดียวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยโยเกิร์ตสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 2 และสูตรที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 75.03 63.89 และ 45.89 ตามลำดับ ทั้งนี้ ยังได้วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของวัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวก่ำที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตในการทดลองนี้ พบว่า ข้าวเหนียวก่ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยมีค่าเท่ากับ 10.48 และ 4.15 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม ตามลำดับ อีกทั้งยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 82.70 ส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเท่ากับร้อยละ 70.79 ดังนั้น เมื่อนำไปผลิตโยเกิร์ตจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวเหนียวก่ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทั้งนี้ การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไทยมีค่าแตกต่างกันออกไป จากงานวิจัยของณพัทธ์อร บัวฉุน (2564) ได้เปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณพลาโวนอยด์ทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากข้าว 14 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวเหนียวก่ำมีปริมาณองค์ประกอบทั้ง 3 สูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ แต่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่คำนวณเป็นค่าความเข้มข้นที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (EC₅₀) ด้วยวิธี DPPPH assay และ ABTS assay ของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าต่ำกว่าข้าวเหนียวก่ำ แสดงให้เห็นว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าข้าวเหนียวก่ำ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay และการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา Lipid peroxidation ที่พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีฤทธิ์สูงกว่าข้าวเหนียวก่ำเช่นกัน ในงานวิจัยนี้ ยังทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากน้ำนมวัวทางการค้า พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 0.28 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม และมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 9.26 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรที่ได้จากการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า การนำข้าวที่มีสีมาพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ปราศจากนมวัวมีข้อได้เปรียบด้านคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีปริมาณสูงกว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตดั้งเดิม

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียแลคติกกับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตร พบว่า มีทิศทางตรงกันข้ามกัน คือ การใช้ข้าวก่ำในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแบคทีเรียแลคติกมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการทดลองของนิจจรา ทูลธรรม และชัยวุฒิ บัวเนี่ยว (2562) รายงานว่า ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตข้าวมีค่าลดลงเมื่อใช้ข้าวกล้องข้าวเหนียวด่างอกในปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ สารประกอบฟีนอลิกสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแลคติกได้ (García-Ruiz et al., 2012) นอกจากนี้ สารประกอบฟีนอลิกมีผลต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของแบคทีเรียแลคติก ได้แก่ *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus vaginalis* (Tabasco et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า จุลินทรีย์โพรไบโอติกบางสายพันธุ์ เช่น *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus plantarum* และ *Lactobacillus delbrueckii* สามารถมีชีวิตอยู่ได้ดีขึ้นในเครื่องดื่มผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานิน แต่จุลินทรีย์โพรไบโอติกบางสายพันธุ์ เช่น *L. salivarius*, *B. longum* และ *B. animalis*. จะมีชีวิตเหลือรอดลดลง (Palencia-Argel et al., 2022)

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของโยเกิร์ตข้าว 3 สูตร

สูตรที่	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
1	6.90±1.45	6.60±1.26	7.40±1.26	6.80±0.79	7.00±0.94
2	6.60±1.17	5.70±1.89	6.50±1.51	6.50±1.35	6.60±1.17
3	7.40±0.97	5.10±1.45	6.90±0.74	7.10±0.99	6.30±0.95

หมายเหตุ ns = not significant

จากตารางที่ 4 พบว่า คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติโดยรวม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของตัวอย่างโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ระหว่าง 6.30 – 7.00 หรือมีความชอบระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งหากพิจารณาร่วมกับคุณประโยชน์ด้านการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งในแต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จึงพิจารณาเลือกสูตรที่ 3 ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ข้าวเหนียวกำร้อยละ 100 เป็นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตจากข้าวที่มีสีผสมธัญพืช โดยยังมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่อยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย

สรุป

จากการผลิตโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวกำผสมธัญพืช โดยผันแปรผันแปรสัดส่วนของข้าวแต่ละชนิด พบว่า เมื่อปริมาณข้าวเหนียวกำมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่คุณลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความเหนียวติดและการเกาะติดกันของอนุภาคอาหารมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสูตรอื่น แต่พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียแลคติกน้อยกว่า ซึ่งส่งผลให้ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เทียบกับกรดแลคติกมีปริมาณลดลง และมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าสูตรอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโยเกิร์ตจากนมวัว พบว่า โยเกิร์ตข้าวมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกและปริมาณกรดแลคติกน้อยกว่าเกณฑ์ที่ระบุไว้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตข้าวอยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ อีกทั้งยังมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าโยเกิร์ตจากนมวัวทางการค้า จึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้บริโภคได้

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวเหนียวกำผสมธัญพืชต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- จตุพัฒน์ สมป์ปิโต, จิรพร ทูลภิรมย์, และณัฐหทัย ธรรมมาโร. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวฮางข้าวเหนียวดำ. **วารสารเกษตรพระวรุณ**, 16, 229-245.
- ไชยวัฒน์ ไชยสุด. (2556). **โพรไบโอติก จุลินทรีย์ทางเลือกเพื่อสุขภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.
- ณพัฐอร บัวฉวน. (2564). องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร**, 2, 190-199.
- ทิพย์วดี โพธิ์สิทธิพรหม, และชุตินา คงจรูญ. (2563). การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านการออกซิเดชันของน้ำพริกน้ำเงี้ยวในพื้นที่เขตภาคเหนือตอนบนประเทศไทย. **วารสารวิจัยราชชมงคลกรุงเทพ**, 1, 138-144.
- นิจฉรา ทูลธรรม, และชัยวุฒิ บัวเนี้ยว. (2562). ผลของปริมาณข้าวกล้องข้าวเหนียวต่างออกต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในเชิงอาหารฟังก์ชัน. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**, 21, 114-129.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. (2557). **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์, ธวัชชัย แก้วถาทำ, และดำเนิน กาละดี. (2547). ปริมาณแกมมา-โอไรซานอลในผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดต่าง ๆ. **วารสารเกษตร**, 20, 111-119.
- ไพรัตน์ ศรีแผลง, สุทธิพงษ์ อริยะพงศ์สรรค์, เกียรติศักดิ์ พูนสุข, และพลสัมพันธ์ มหาจันทร์. (2550). แลคติกแอซิดแบคทีเรียที่แยกได้จากมูลไก่พื้นเมือง. **วารสารสัตวแพทยศาสตร์ มข.**, 1, 33-42.
- ภัทรกร บุปผัน, รัตน์ติกร โกสุวิรินทร์, ญาธิป ชายหงส์, นพวรรณ ทรัพย์มั่งสังข์, และสุกฤตา อ้าการม. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากน้ำนมข้าวสาลีและการอยู่รอดของปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**, 26, 83-90.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2546). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมเปรี้ยว มอก.2146-2546**.
- วิชญ์ลักษณ์ ค่ายอง. (2550). **คุณสมบัติของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมแลคเตทหรือแคลเซียมกลูโคเนต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศุภศิษฐ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์, และนิอร ชุมศรี. (2558). การผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายโยเกิร์ตจากข้าวกล้องอก. **Christian University of Thailand Journal**, 21, 308-321.
- สุธีรา ศรีสุข. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่มจากน้ำนมลูกเดี๋ย. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร**, 2, 53-64.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). **ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- อุไรวรรณ วัฒนกุล, ศุภลักษณ์ สุดขาว, และพีรพงษ์ พึ่งแย้ม. (2561). คุณภาพทางเคมี-กายภาพ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกเร็วจากข้าวกล้องงอกผสม 3 สายพันธุ์. รายงานการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- Ahmed, S., & Hasan, M.M. (2014). Legumes: an overview. **Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, 2(1), 34-38.
- AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis**. (17th ed). Arlington Virginia: Association of Official Analytical Chemist International.
- Chen, M.H., McClung, A.M., & Bergman, C.J. (2017). Phenolic content, anthocyanins and antiradical capacity of diverse purple bran rice genotypes as compared to other bran colors. **Journal of Cereal Science**, 77, 110-119.
- da Silva, D.C.G., Brugnera, D.F., & de Abreu, L.R. (2013). Quantification of lactic acid bacteria and bifidobacteria in goat milk based yoghurts with added water-soluble soy extract. **Global Journal of Food Science and Technology**, 1, 91-97.
- FAO, & WHO. (2006). Probiotics in food : Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. Retrieved from <https://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf>
- Fawzi, N.Y., Abdelghani, D.Y., Abdel-azim, M.A., Shokier, C.G., Youssef, M.W., Gad El-Rab, M.K., Gad, M.I., & Abou-Taleb, K.A. (2022). The ability of probiotic lactic acid bacteria to ferment Egyptian broken rice milk and produce rice-based yoghurt. **Annals of Agricultural Science**, 67, 107-118.
- García-Ruiz, A., Cueva, C., González-Rompinelli, E.M., Yuste, M., Torres, M., Martín-Álvarez, P.J., Bartolomé, B., & Moreno-Arribas, M.V. (2012). Antimicrobial phenolic extracts able to inhibit lactic acid bacteria growth and wine malolactic fermentation. **Food Control**, 28, 212-219.
- Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T., & Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, 61, 1-21.
- Li, S., Tang, S., He, Q., Hu, J., & Zheng, J. (2019). Changes in proteolysis in fermented milk produced by *streptococcus thermophilus* in co-culture with *lactobacillus plantarum* or *bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* during refrigerated storage. **Molecules**, 24, 1-13.
- Lim, X. X., Koh, W. Y., Uthumporn, U., Maizura, M., & Wan Rosli, W. I. (2019). The development of legume-based yogurt by using water kefir as starter culture. **International Food Research Journal**, 26(4): 1219-1228.

- Palencia-Argel, M., Rodríguez-Villamil, H., Bernal-Castro, C., Diaz-Moreno, C., & Fuenmayor, C.A. (2022). Probiotics in anthocyanin-rich fruit beverages: research and development for novel synbiotic products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 1-17.
- Posuwan, J., Prangthip, P., Leardkamolkarn, V., Yamborisut, U., Surasiang, R., Charoensiri, R., & Kongkachuichai, R. (2013). Long-term supplementation of high pigmented rice bran oil (*Oryza sativa* L.) on amelioration of oxidative stress and histological changes in streptozotocin-induced diabetic rats fed a high fat diet; Riceberry bran oil. **Food Chemistry**, 138(1), 501–508.
- Tabasco, B., Sánchez-Patán, F., Monagas, M., Bartolomé, B., Moreno-Arribas, M.V., Peláez, C., & Requena, T. (2011). Effect of grape polyphenols on lactic acid bacteria and bifidobacteria growth: Resistance and metabolism. **Food Microbiology**, 28, 1345-1352.
- Thuy, P.T., Trung, N.Q., & Huong, D.T. (2018). Agronomic characteristics, anthocyanin content, and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seeds of black rice accessions. **Vietnam Journal of Agricultural Sciences**, 3, 208-219.
- Valero-Cases, E., Cerdá-Bernad, D., Pastor, J.J., & Frutos, M.J. (2020). Non-Dairy fermented beverages as potential carriers to ensure probiotics, prebiotics, and bioactive compounds arrival to the gut and their health benefits. **Nutrients**, 12, 1-18.
- Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., Bai, X., Xie, J., Wang, Y., & Geng, W. (2021). Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, 9, 1-19.
- Yamuangmorn, S., & Prom-u-Thai, C. (2021). The potential of high-anthocyanin purple rice as a functional ingredient in human health. **Antioxidants**, 10, 1-21.

ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} จำแนกตามฤดูกาล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

สุจารี คำศรี^{1*} นฤมล ต๊ะใจ²

Received : November 17, 2023

Revised : June 23, 2024

Accepted : August 14, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} และศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จำแนกตามฤดูกาล ใช้ข้อมูลทุติยภูมิรายวัน ตั้งแต่ 1 มกราคม 2562 ถึง 31 ธันวาคม 2566 ของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีตรวจวัดโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) จากกรมควบคุมมลพิษ และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ เตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์โดยตรวจสอบความสมบูรณ์ จัดการข้อมูลสูญหาย และแบ่งข้อมูล 4 กลุ่ม ดังนี้ 1) ข้อมูลตรวจวัดต่อเนื่อง 2) ข้อมูลตรวจวัดในฤดูฝน 3) ข้อมูลตรวจวัดในฤดูหนาว และ 4) ข้อมูลตรวจวัดในฤดูร้อน โดยแบ่งฤดูฝน (16 พฤษภาคม-15 ตุลาคม) ฤดูหนาว (16 ตุลาคม-15 กุมภาพันธ์) และฤดูร้อน (16 กุมภาพันธ์-15 พฤษภาคม) สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Kruskal-Wallis Test สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน และการวิเคราะห์การถดถอย ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ทุกฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 โดยฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} มากที่สุด ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน และความเร็วมมีความสัมพันธ์ทางลบกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อุณหภูมิมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ยกเว้นฤดูหนาว จากข้อมูลการตรวจวัดต่อเนื่อง ทุกปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาพร้อมกันคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ได้ 61.2%

คำสำคัญ: การวิเคราะห์การถดถอย ความชื้นสัมพัทธ์ เชียงใหม่ ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา PM_{2.5}

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

อีเมล: sujaree.dam@sru.ac.th

² นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

อีเมล: 6304302001025@student.sru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: sujaree.dam@sru.ac.th

SEASONAL RELATIONSHIP BETWEEN METEOROLOGICAL FACTORS AND PM_{2.5} LEVELS IN MUEANG DISTRICT, CHIANG MAI PROVINCE

Sujaree Damsri^{1*} Narumol Tajai²

Abstract

The objectives were to consider the seasonal variation of PM_{2.5} concentration and to investigate the relationship between meteorological factors and PM_{2.5} concentration in Mueang District, Chiang Mai. The data was from January 1, 2019, to December 3, 2023. The daily PM_{2.5} concentration was obtained from the Pollution Control Department's ambient air quality monitoring station at Yupparaj Wittayalai School (36T) and the daily meteorological data, including wind speed, rainfall, temperature, and relative humidity, from the Northern Region Meteorological Center. Data preparation involved examining completeness, managing missing data, and categorizing the data into four groups: 1) continuously monitored data; 2) rainy season data; 3) winter data; and 4) summer data. The seasons are defined as follows: rainy season (May 16 to October 15), winter (October 16 to February 15), and summer (February 16 to May 15). Statistical methods included mean, standard deviation, Kruskal-Wallis Test, Pearson Correlation Coefficient, and Regression Analysis. The results found that PM_{2.5} concentrations had significant differences among seasons ($p < 0.05$), with the highest mean PM_{2.5} concentrations in summer, exceeding the ambient air quality standard. Relative humidity, rainfall, and wind speed were negatively correlated with PM_{2.5} concentrations. Temperature was positively correlated with PM_{2.5} concentrations, except in winter. From continuously monitored data, all meteorological factors combined could predict PM_{2.5} concentrations with an accuracy of 61.2%.

Keywords: Regression analysis, Relative humidity, Chiang Mai, Meteorological factors, PM_{2.5}

¹ Lecturer of Bachelor of Science Program in Mathematics, Faculty of Science and Technology, SuratThani Rajabhat University, e-mail: sujaree.dam@sru.ac.th

² Student of Bachelor of Science Program in Mathematics, Faculty of Science and Technology, SuratThani Rajabhat University, e-mail: 6304302001025@student.sru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: sujaree.dam@sru.ac.th

บทนำ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมและเป็นปัจจัยเสี่ยงหลักของการเสียชีวิต 5 อันดับแรกจาก 87 ปัจจัยเสี่ยงในการประเมินทั่วโลก (GBD 2019 Risk Factors Collaborators, 2020) องค์การอนามัยโลกคาดว่าผลกระทบจากมลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรประมาณ 7 ล้านคนต่อปีจากโรคหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง มะเร็งปอด และการติดเชื้อทางเดินหายใจเฉียบพลัน (WHO, 2023) มลพิษทางอากาศไม่ว่าจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ ล้วนทำให้เกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ซึ่งฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นมลพิษที่มีผลกระทบต่อสุขภาพมากที่สุดในบรรดามลพิษทางอากาศทั่วไปด้วยขนาดที่เล็กมากสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้และจากนั้นก็ไปทั่วร่างกาย เป็นสาเหตุของผลกระทบด้านสุขภาพทั้งระยะสั้นและระยะยาว (กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ประเทศไทย), 2561) ประเทศไทยเผชิญกับสถานการณ์ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ มีค่าสูงเกินมาตรฐานเป็นประจำในหลายจังหวัดซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสุขภาพของประชาชน และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเป็นปัญหาสำคัญไปยังจังหวัดข้างเคียงในภูมิภาคอีกด้วย เหตุการณ์ที่เกิดปัญหาจะแตกต่างกันในแต่ละภาค โดยภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกิดปัญหาประมาณเดือน มกราคม-พฤษภาคม ภาคใต้เกิดปัญหาประมาณเดือน กรกฎาคม-กันยายน กรุงเทพมหานครและปริมณฑลเกิดปัญหาประมาณเดือน พฤศจิกายน-มีนาคม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) การแก้ไขปัญหาดังกล่าวต้องดำเนินการอย่างเร่งด่วน เป็นระบบ โดยความร่วมมือของหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และประชาชน คณะรัฐมนตรีจึงมีมติให้การแก้ไขปัญหาภาวะด้านฝุ่นละอองเป็นวาระแห่งชาติ เมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562 เพื่อให้การแก้ไขปัญหาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผล ปี 2565 กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ได้ติดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติเพิ่มขึ้นเป็น 87 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ 56 จังหวัด โดยตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศและสภาพอากาศทางอุตุนิยมวิทยาระดับผิวดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2565) เพื่อเฝ้าระวัง เตรียมการป้องกันและแก้ไขปัญหา รวมถึงแจ้งเตือนให้ประชาชนทราบเพื่อดูแลสุขภาพได้อย่างถูกต้อง

ปัญหาหมอกควันและฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เป็นปัญหามลพิษทางอากาศในภาคเหนือโดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ตั้งแต่ปี 2550 และยังคงเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นประจำทุกปีจนถึงปัจจุบัน (มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2562) ปัญหาดังกล่าวเกิดจากการสะสมของหมอกควันและฝุ่นในอากาศโดยสัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ทำให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนทั้งด้านสุขภาพ และด้านเศรษฐกิจ (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม, 2564) ปัจจัยหลักที่เป็นสาเหตุของปัญหา ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เช่น การเผาในที่โล่งซึ่งมีความรุนแรงมากในเดือน มีนาคม-เมษายน ของทุกปี การเกิดไฟป่าที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

โดยเครื่องยนต์ดีเซล ทั้งนี้แหล่งกำเนิดหลักเกิดขึ้นจากการเผาในที่โล่ง (ชนิษฐา ชัยรัตน์วารรณ และ ญัฐพศุทธิ์ ภัทธีราสินสิริ, 2563) 2) ปัจจัยด้านสภาพภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ โอบรอบด้วยภูเขาสูง สภาพพื้นที่ดังกล่าวทำให้อากาศในแอ่งเมืองเชียงใหม่เคลื่อนตัวได้น้อยมาก (อากาศเสถียร) เมื่อเกิดการสะสมของฝุ่นละออง และเกิดความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่มาปกคลุม ทำให้หมอกควันไม่สามารถลอยตัวขึ้นสูงได้ และ 3) ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา โดยจังหวัดเชียงใหม่อยู่ภายใต้อิทธิพลมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ภูมิอากาศมี 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (สำนักงานจังหวัดเชียงใหม่, 2565) ซึ่งสภาพอากาศที่มีความแตกต่างในแต่ละฤดูกาลและมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีจะทำให้ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น รังสีแสงอาทิตย์ เป็นตัวกำหนดทิศทางการแพร่กระจายความเข้มข้นและความเร็วในการเปลี่ยนรูปของสารมลพิษทางอากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์และคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่น อนุภาคขนาดเล็ก หายสูงเนิน และสามัคคี บุญยะวัฒน์ (2553) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองในบรรยากาศกับปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา พบว่า ฝุ่นละอองในอากาศภาคเหนือมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม และชลธิดา เชิญขุนทด (2557) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณฝุ่นละออง PM₁₀ กับปัจจัยด้านภูมิอากาศพื้นที่ 7 จังหวัดภาคเหนือ พบว่า อุณหภูมิ ความเร็วลม และความกดอากาศมีอิทธิพลต่อค่า PM₁₀ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สันและวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เช่น ชาศริต โชติอมรศักดิ์ และดวงนภา ลาภใหญ่ (2561) ศึกษาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่สัมพันธ์ต่อการเกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า อุณหภูมิสูงสุดรายวันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้น PM₁₀ ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิต่ำสุด ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้น PM₁₀ จากการศึกษาเอกสาร/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} จำแนกตามฤดูกาล เพื่อทราบถึงปัจจัยหลักในแต่ละฤดูกาลและสามารถนำมาคาดการณ์สถานการณ์ปัญหาเพื่อนำไปใช้วางแผน ตัดสินใจให้ทันต่อสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} และศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยากับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จำแนกตามฤดูกาล

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิรายวัน ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2562 ถึง 31 ธันวาคม 2566 ของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง (Y หน่วย: ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร หรือ $\mu g / m^3$) ณ สถานีตรวจวัดโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย (36T) จากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ 1) ความเร็วลม (X_1 หน่วย: กิโลเมตร/ชั่วโมง) 2) ปริมาณน้ำฝน (X_2 หน่วย: มิลลิเมตร) 3) อุณหภูมิ (X_3 หน่วย: องศาเซลเซียส) และ 4) ความชื้นสัมพัทธ์ (X_4 หน่วย: เปอร์เซ็นต์) จากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

การเตรียมข้อมูล

ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} พบว่ามีค่าสูญหาย 0.77% กำหนดค่าสูญหายด้วยวิธี Regression Method (ประชุม สุวัตถิ, 2554) และแบ่งข้อมูล 4 กลุ่ม ดังนี้ 1) ข้อมูลตรวจวัดต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2562 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม 2566 จำนวน 1,826 วัน 2) ข้อมูลตรวจวัดในฤดูฝน 765 วัน 3) ข้อมูลตรวจวัดในฤดูหนาว 615 วัน และ 4) ข้อมูลตรวจวัดในฤดูร้อน 446 วัน โดยแบ่งฤดูดังนี้ ฤดูฝน (16 พฤษภาคม-15 ตุลาคม) ระยะเวลา 5 เดือน ฤดูหนาว (16 ตุลาคม-15 กุมภาพันธ์) ระยะเวลา 4 เดือน และ ฤดูร้อน (16 กุมภาพันธ์-15 พฤษภาคม) ระยะเวลา 3 เดือน (สำนักงานจังหวัดเชียงใหม่, 2565)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ รายเดือน
2. วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} จำแนกตามฤดูกาล ด้วยการทดสอบ Kruskal-Wallis Test และทดสอบค่าเฉลี่ยรายคู่โดยการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยการทดสอบ Mann-Whitney U Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (สุวิมล ติรภานันท์, 2553)
3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} กับปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (ปรีชญา สิงหรวงศ์, 2563) ซึ่งแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ด้วยเกณฑ์การวัดระดับความสัมพันธ์ 5 ระดับ (Hinkle et al., 1998)
4. วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแบบขั้นตอน (ประชุม สุวัตถิ และคณะ, 2555) เพื่อสร้างตัวแบบคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ด้วยปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา (ศุภลักษณ์ หาญสูงเนิน และสามัคคี บุญยะวัฒน์, 2553)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จำแนกรายเดือน

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ รายเดือน พ.ศ. 2562-2566 แสดงดังตารางที่ 1 (กำหนดมาตรฐานฝุ่นละออง PM_{2.5} ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน $50 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ค่าเฉลี่ยรายปีไม่เกิน $25 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2553)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} รายเดือน พ.ศ. 2562 – 2566

พ.ศ.		ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM _{2.5} (หน่วย: $\mu\text{g} / \text{m}^3$)											เฉลี่ย	
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		ธ.ค.
2562	\bar{X}	25.1	44.3	84.0	66.9	32.7	11.9	10.1	10.3	14.9	15.8	22.2	33.0	30.9
	S.D.	9.4	16.1	48.3	27.4	15.9	3.6	2.6	3.0	8.0	4.1	6.5	10.3	29.1
2563	\bar{X}	42.6	53.9	81.1	61.5	19.2	7.2	7.3	9.3	9.9	9.3	17.1	23.9	28.5
	S.D.	13.8	13.7	34.4	34.5	8.9	2.8	2.4	2.9	4.5	3.5	3.4	4.7	28.6
2564	\bar{X}	41.4	38.6	77.6	34.3	15.6	10.7	7.6	9.4	7.8	9.4	13.9	23.8	24.2
	S.D.	10.4	14.8	21.4	28.4	5.5	4.5	2.3	2.6	2.2	3.5	4.1	5.7	23.4
2565	\bar{X}	18.8	23.4	36.2	39.3	15.6	10.0	8.1	8.5	9.5	16.5	19.1	27.0	19.3
	S.D.	4.7	8.5	11.8	16.6	6.3	4.0	2.7	2.1	3.6	8.2	5.9	8.7	12.8
2566	\bar{X}	34.2	52.5	80.0	105.9	26.5	10.6	8.4	16.5	10.0	11.8	17.5	22.2	32.8
	S.D.	11.3	21.1	32.3	53.8	11.4	3.1	2.0	4.5	3.2	3.7	6.1	5.1	35.7

จากตารางที่ 1 โดยส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีค่ามากที่สุด เดือนมีนาคม สอดคล้องกับการศึกษาของศุภลักษณ์ หาญสูงเนิน และสามัคคี บุญยะวัฒน์ (2553) และ ธิตยา ศรีนาราง และรังสรรค์ เกตุอ้อต (2563) สำหรับช่วงฤดูฝนจะมีความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} น้อยและส่วนใหญ่มีค่าน้อยที่สุดในเดือนกรกฎาคม สำหรับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} รายปีลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2562 จนถึงปี 2565 และเพิ่มสูงขึ้นในปี 2566 ($\bar{X} = 32.8 \mu\text{g} / \text{m}^3$)

2. การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} จำแนกตามฤดูกาล

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} จำแนกตามฤดูกาลด้วยการทดสอบ Kruskal-Wallis Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งค่า P-value น้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อย่างน้อย 2 ฤดูกาลที่แตกต่างกันและเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยรายคู่ พบว่า ทุกฤดูมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} แตกต่างกัน โดยฤดูร้อนมีความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} มากที่สุด ($\bar{X} = 56.7 \mu\text{g} / \text{m}^3$) ถัดมาเป็นฤดูหนาว ($\bar{X} = 25.6 \mu\text{g} / \text{m}^3$) และฤดูฝน ($\bar{x} = 11.0 \mu\text{g} / \text{m}^3$) ตามลำดับ

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} กับปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา
สัมพันธ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} กับปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาเป็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} กับปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา

กลุ่มที่ 1 ข้อมูลตรวจวัดต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2562 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม 2566					
ตัวแปร	y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
y	1	-0.164*	-0.186*	0.084*	-0.671*
X ₁		1	0.230*	0.310*	0.002
X ₂			1	-0.011	0.361*
X ₃				1	-0.253*
X ₄					1

กลุ่มที่ 2 ข้อมูลตรวจวัดในฤดูฝน					
ตัวแปร	y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
y	1	-0.007	-0.159*	0.394*	-0.426*
X ₁		1	0.095*	0.112*	-0.128*
X ₂			1	-0.366*	0.414*
X ₃				1	-0.917*
X ₄					1

กลุ่มที่ 3 ข้อมูลตรวจวัดในฤดูหนาว					
ตัวแปร	y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
y	1	-0.175*	-0.139*	-0.343*	-0.452*
X ₁		1	0.254*	0.085*	-0.105*
X ₂			1	0.112*	0.251*
X ₃				1	0.366*
X ₄					1

กลุ่มที่ 4 ข้อมูลตรวจวัดในฤดูร้อน					
ตัวแปร	y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
y	1	-0.383*	-0.214*	0.136*	-0.538*
X ₁		1	0.370*	0.115*	0.234*
X ₂			1	-0.142*	0.404*
X ₃				1	-0.414*
X ₄					1

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05)

จากตารางที่ 2 พบว่า ข้อมูลกลุ่มที่ 1 อุณหภูมิเพียงตัวแปรเดียวที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ในระดับต่ำมาก ($r = 0.084$) ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์ทางลบกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ข้อมูลกลุ่มที่ 3 ทุกปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาที่มีความสัมพันธ์ทางลบกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} โดยความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ระดับต่ำ ($r = -0.452$) สำหรับข้อมูลกลุ่มที่ 4 ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} โดยความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ระดับปานกลาง ($r = -0.538$) จะเห็นได้ว่าความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์ทางลบกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ทุกกลุ่มข้อมูลที่ศึกษา สอดคล้องกับชาคริต โชติอมรศักดิ์ และดวงภา ลาภใหญ่ (2561) ที่พบว่าปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM₁₀ จังหวัดเชียงใหม่ สอดคล้องกับ ปรีชญา สิงหรวงศ์ (2563) ที่พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์ทางลบกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาด้วยกันเองรายคู่ พบว่า ไม่มีตัวแปรอิสระคู่ใดที่มีความสัมพันธ์กันสูง และจากตารางที่ 3 ค่า Tolerance ของตัวแปรทุกตัวเข้าใกล้ 1 และค่าองค์ประกอบความแปรปรวน (VIF) ไม่เกิน 10 จึงไม่เกิดปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปร

4. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแบบขั้นตอน

ผู้วิจัยทดสอบสมมติฐานการแจกแจงของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} (Y) และพบว่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จึงแปลงตัวแปรใหม่เป็น Y' โดย $Y' = \log Y$ แล้วจึงนำไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณแบบขั้นตอน ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแบบขั้นตอน

ตัวแปรอิสระ	ค่าสัมประสิทธิ์		t	Sig.	Tolerance	VIF
	b_0	β_0				
กลุ่มที่ 1 ข้อมูลตรวจวัดต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2562 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม 2566						
ค่าคงที่	3.878		54.464	0.000*		
ความเร็วลม (x_1)	-0.009	-0.157	-9.890	0.000*	0.849	1.177
ปริมาณน้ำฝน (x_2)	0.003	0.070	4.313	0.000*	0.817	1.225
อุณหภูมิ (x_3)	-0.025	-0.195	-12.224	0.000*	0.840	1.191
ความชื้นสัมพัทธ์ (x_4)	-0.026	-0.806	-49.595	0.000*	0.807	1.239

$r = 0.782$, R Square = 0.612, Adjusted R Square = 0.611, Std. Error of the Estimate = 0.222
F-value = 716.522, F-Prob = 0.000*, Durbin-Watson = 0.587

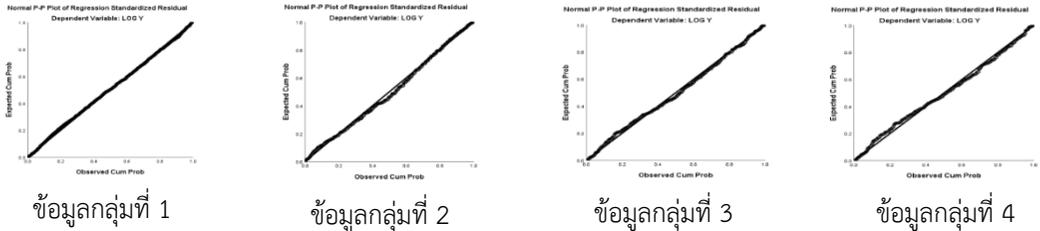
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแบบขั้นตอน (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ	ค่าสัมประสิทธิ์		t	Sig.	Tolerance	VIF
	b_0	β_0				
กลุ่มที่ 2 ข้อมูลตรวจวัดในฤดูฝน						
ค่าคงที่	1.760		27.006	0.000*		
ความเร็วลม (X_1)	-0.002	-0.072	-2.155	0.031*	0.984	1.017
ความชื้นสัมพัทธ์ (X_4)	-0.010	-0.411	-12.333	0.000*	0.984	1.017
r = 0.408, R Square = 0.167, Adjusted R Square = 0.165, Std. Error of the Estimate = 0.174 F-value = 76.225, F-Prob = 0.000*, Durbin-Watson = 0.528						
กลุ่มที่ 3 ข้อมูลตรวจวัดในฤดูหนาว						
ค่าคงที่	3.101		32.111	0.000*		
ความเร็วลม (X_1)	-0.014	-0.278	-8.576	0.000*	0.971	1.029
อุณหภูมิ (X_3)	-0.022	-0.214	-6.161	0.000*	0.851	1.176
ความชื้นสัมพัทธ์ (X_4)	-0.014	-0.446	-12.834	0.000*	0.847	1.180
r = 0.613, R Square = 0.375, Adjusted R Square = 0.372, Std. Error of the Estimate = 0.181 F-value = 122.447, F-Prob = 0.000*, Durbin-Watson = 0.673						
กลุ่มที่ 4 ข้อมูลตรวจวัดในฤดูร้อน						
ค่าคงที่	2.984		43.859	0.000*		
ความเร็วลม (X_1)	-0.012	-0.265	-17.320	0.000*	0.854	1.171
ปริมาณน้ำฝน (X_2)	0.004	0.093	-7.277	0.017*	0.756	1.323
ความชื้นสัมพัทธ์ (X_4)	-0.019	-0.640	2.403	0.000*	0.829	1.207
r = 0.707, R Square = 0.501, Adjusted R Square = 0.497, Std. Error of the Estimate = 0.224 F-value = 147.664, F-Prob = 0.000*, Durbin-Watson = 0.674						

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

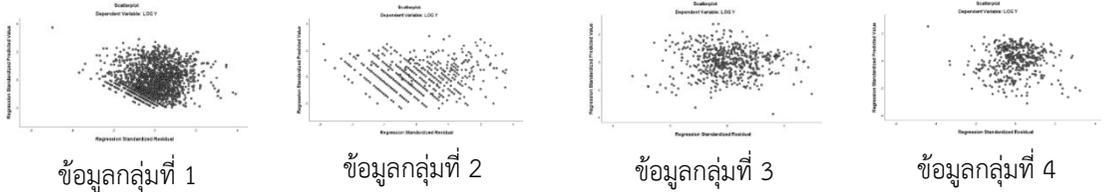
จากตารางที่ 3 กลุ่มที่ 1 ทุกปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ระดับสูง ($r=0.782$) และร่วมกันคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้ 61.2% กลุ่มที่ 2 ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ระดับต่ำ ($r=0.408$) และคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้ 16.7% กลุ่มที่ 3 ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ระดับปานกลาง ($r=0.613$) และร่วมกันคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้ 37.5% และกลุ่มที่ 4 ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ระดับสูง ($r=0.707$) และร่วมกันคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้ 50.1%

ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะมีความเหมาะสมเมื่อเป็นไปตามข้อสมมุติของ ε_i 4 ข้อ คือ 1) $E(\varepsilon_i) = 0$ 2) ε_i มีการแจกแจงปกติ 3) ε_i มีความแปรปรวนคงที่ 4) ความคลาดเคลื่อน ε_i และ ε_j สำหรับ $i \neq j$ เป็นอิสระกัน (ประชุม สุวดี และคณะ, 2555) จากการตรวจสอบข้อสมมุติ 1 พบว่า $E(\varepsilon_i) = 0$ ทุกกลุ่มข้อมูล สำหรับข้อสมมุติ 2 และ 3 แสดงการตรวจสอบดังภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของ ε_i ด้วยกราฟ Normal P-P Plot

จากภาพที่ 1 กราฟระหว่างความน่าจะเป็นสะสมที่สังเกตได้กับความน่าจะเป็นสะสมที่คาดหวังเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติโดยจุดเรียงกันในแนวเส้นตรง ดังนั้น ε_i มีการแจกแจงปกติ



ภาพที่ 2 การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของ ε_i

จากภาพที่ 2 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าพยากรณ์ ซึ่งจุดมีการกระจายอย่างสุ่มในแนวนอน โดยรอบศูนย์แสดงว่า ε_i มีความแปรปรวนคงที่

สำหรับข้อสมมุติ 4 พิจารณาค่า Durbin-Watson ในตารางที่ 3 ซึ่งความคลาดเคลื่อนทุกกลุ่มข้อมูลมีความสัมพันธ์กันจึงแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Cochrane-Orcutt (วีรัชช พานิชวงศ์, 2549) ซึ่งค่า Durbin-Watson ใหม่ของข้อมูลกลุ่มที่ 1 - 4 เท่ากับ 1.809, 2.028, 1.868 และ 1.775 ตามลำดับและเป็นไปตามข้อสมมุติ 4 ซึ่งตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณสำหรับคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เมื่อแปลงข้อมูลเป็นดังนี้

$$\text{ข้อมูลกลุ่มที่ 1 } \hat{Y}' = 0.698 - 0.001X_1 + 0.001X_2 + 0.025X_3 - 0.001X_4 \text{ โดย } Y' = \log Y$$

$$\text{ข้อมูลกลุ่มที่ 2 } \hat{Y}' = 1.4388 - 0.001X_1 - 0.006X_4 \text{ โดย } Y' = \log Y$$

$$\text{ข้อมูลกลุ่มที่ 3 } \hat{Y}' = 1.891 - 0.004X_1 - 0.001X_3 - 0.007X_4 \text{ โดย } Y' = \log Y$$

$$\text{ข้อมูลกลุ่มที่ 4 } \hat{Y}' = 2.031 - 0.003X_1 + 0.004X_2 - 0.006X_4 \text{ โดย } Y' = \log Y$$

สรุป

ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2562 - 2566 มีความแตกต่างกันทุกฤดูที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ฤดูร้อนมีความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} มากที่สุด ($\bar{X} = 56.7 \mu\text{g} / \text{m}^3$) ส่วนใหญ่มีค่ามากที่สุดเดือนมีนาคม ฤดูฝนมีความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} น้อยที่สุด ($\bar{X} = 11.0 \mu\text{g} / \text{m}^3$) ส่วนใหญ่มีค่าน้อยที่สุดเดือนกรกฎาคม ปี 2562-2565 มีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และมีมาตรการควบคุม เช่น การปิดเมือง การห้ามไม่ให้ประชาชนออกนอกเคสสถานระหว่างเวลาที่กำหนด และการปฏิบัติงานที่บ้าน ทำให้กิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นลดลงทั้งการจราจร การขนส่ง การใช้พลังงานไฟฟ้า การลดกำลังการผลิตของภาคอุตสาหกรรมและการปิดกิจการ เป็นต้น และทำให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} รายปีลดลงโดยปี 2564 - 2565 มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน $25 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุดในทุกกลุ่มข้อมูลที่ศึกษา เมื่อความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนลดลงจะส่งผลให้ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วลมลดลงจะเกิดการสะสมของฝุ่นและทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} เพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} เพิ่มขึ้นยกเว้นในฤดูหนาว เนื่องจากบริเวณความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากจีนแผ่มาปกคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ทุกปี จึงส่งผลให้สภาพอากาศนิ่งและปิด ลมสงบ ประกอบกับมีการผันกลับของอุณหภูมิ (กรมควบคุมมลพิษ, 2565) นั่นคือในขณะที่มวลอากาศเย็นแผ่ลงมาปกคลุมมวลอากาศร้อนก็ลอยตัวสูงขึ้นเกิดเป็นชั้นอากาศปิดกั้นฝุ่นไม่ให้แพร่กระจาย จึงเกิดการสะสมของฝุ่นและทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ชัดว่าสถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานส่วนใหญ่เกิดขึ้นในฤดูร้อนโดยมี 3 ปัจจัยร่วมกัน คือ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ระดับสูง ($r = 0.707$) และร่วมกันคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ได้ 50.1% แม้ว่า 3 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ระดับสูงแต่สามารถร่วมกันคาดการณ์ได้เพียง 50.1% แสดงว่ามีปัจจัยอื่นๆ นอกจากที่ศึกษาซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5}

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ฝุ่นละออง PM_{2.5} ในจังหวัดเชียงใหม่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการป้องกันตั้งแต่ต้นเหตุของปัญหาจากแหล่งกำเนิด ควบคุมการเผาในที่โล่ง ออกมาตรการกำหนดช่วงระยะเวลาห้ามเผาให้สอดคล้องกับช่วงความกดอากาศสูงที่แผ่มาปกคลุมซึ่งเอื้อต่อการสะสมฝุ่น ร่วมกับการพิจารณาความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และโดยเฉพาะความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกับความเข้มข้นฝุ่นละออง

PM_{2.5} อีกทั้งควรให้ความสำคัญกับการป้องกันการเกิดไฟป่าด้วยการสร้างความชุ่มชื้นให้ผืนป่าและจัดทำระบบป้องกันไฟไหม้ป่า ควรมีการคาดการณ์สถานการณ์ ฝุ่นระวาง และแจ้งเตือน รวมถึงมีการประชาสัมพันธ์ข้อมูล/ความรู้ในหลายช่องทางให้ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ง่าย เพื่อสามารถนำมาปฏิบัติตนสำหรับการป้องกันและดูแลสุขภาพได้อย่างถูกต้องเมื่ออยู่ในช่วงที่มีความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} สูง

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุของปัญหาคุณภาพอากาศ ได้แก่ ปัจจัยด้านแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ปัจจัยด้านสภาพภูมิประเทศ และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นในการศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} อาจพิจารณาตัวแปรอื่นนอกจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาการศึกษาเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ประเทศไทย). (2561). รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศโลก พ.ศ. 2561

การจัดอันดับมลพิษ PM_{2.5} ของเมืองและภูมิภาคทั่วโลก. สืบค้นจาก

<https://www.greenpeace.or.th/s/right-to-clean-air/2018-world-air-quality-report.pdf>

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). รั้วรอบทิศมลพิษทางอากาศ. สืบค้นจาก

<https://www.pcd.go.th/publication/4720>

กรมควบคุมมลพิษ. (2564). คู่มือปฏิบัติการในการป้องกันและการแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง PM_{2.5}. สืบค้นจาก

<https://www.pcd.go.th/publication/13479>

กรมควบคุมมลพิษ. (2565). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2565. สืบค้นจาก

<https://www.pcd.go.th/publication/30311>

ชนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ, และณัฐพศุทธิ์ ภัทธีราสินสิริ. (2563). แหล่งกำเนิด ผลกระทบและแนวทางจัดการ

ฝุ่นละออง PM_{2.5} บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย. วารสารสมาคมนักวิจัย, 25(1), 461-474.

ชาคริต โชติอมรศักดิ์, และดวงนภา ลาภใหญ่. (2561). ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่สัมพันธ์ต่อการเกิดปัญหา

มลพิษทางอากาศในจังหวัดเชียงใหม่. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

เพื่อการเรียนรู้, 9(2), 237-249.

- ชลธิดา เชิญขุนทด. (2557). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน(PM₁₀) กับปัจจัยด้านภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ 7 จังหวัดภาคเหนือ. กรุงเทพฯ: กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช.
- ประชุม สุวดี, พาชิตชนันต์ ศิริพานิช, จิราวัลย์ จิตรถเวช, และสำรวม จงเจริญ. (2555). ระเบียบวิธีสถิติ 1. กรุงเทพฯ: โซดา แอดเวอร์ไทซิ่ง.
- ประชุม สุวดี. (2554). ทฤษฎีการชักตัวอย่าง 1. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- ปรัชญา สิงหรวงศ์. (2563). การพยากรณ์ฝุ่น PM2.5 ล่วงหน้าในจังหวัดเชียงใหม่โดยใช้แบบจำลองหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธิดิยา ศรีนาราง, และรังสรรค์ เกตุออด. (2563). การประเมินปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ด้วยวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่, 1(2), 35-47.
- มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2562). โครงการแนวทางการขับเคลื่อนการปฏิรูปประเทศด้านการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน. (รายงานวิจัย). นนทบุรี: มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- วิรัช พานิชวงศ์. (2549). การวิเคราะห์การถดถอย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศุภลักษณ์ หาญสูงเนิน, และสามัคคี บุญยะวัฒน์. (2553). ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองในบรรยากาศกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทย: ปริมาณรังสีสุทธิ อุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 3-5 กุมภาพันธ์ 2553 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สถาบันวิจัยประชากรและสังคม. (2564). สุขภาพคนไทย 2564: COVID-19 มหันตภัยร้ายเขย่าโลก. นครปฐม: สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สำนักงานจังหวัดเชียงใหม่. (2565). บรรยายสรุปจังหวัดเชียงใหม่. สืบค้นจาก <https://www.chiangmai.go.th/managing/public/D8/8D17Jan2022133138.pdf>
- สุวิมล ติरणานนท์. (2553). สถิตินันทพาราเมตริก. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

GBD 2019 Risk Factors Collaborators. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*, 396(10258), 1223-1249.

Hinkle, D. E., & William, W., & Stephen, G. J. (1998). **Applied Statistics for the Behavior Sciences**. (4th ed.). New York: Houghton Mifflin.

WHO. (2023). **Air pollution: The invisible health threat**. Retrieved from <http://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/air-pollution--the-invisible-health-threat>

การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่ จังหวัดปทุมธานี

ภาคภูมิ อุนหละขจร^{1*} เจริญชัย อึ้งเจริญสุข² อัษฎาวุฒิ โยธาสุภาพ³ วัฒนา ชยธวัช⁴

Received : January 11, 2024

Revised : July 18, 2024

Accepted : August 15, 2024

บทคัดย่อ

ในประเทศไทย โรคความดันโลหิตสูงเป็นโรคในกลุ่มหลอดเลือดที่เป็นสาเหตุของความเจ็บป่วยด้วยภาวะแทรกซ้อนมากที่สุดและทำให้ผู้ป่วยที่ได้ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงทีเสียชีวิต เช่น ภาวะหัวใจล้มเหลว เส้นเลือดในสมองแตก เป็นต้น การพยากรณ์โรคเป็นมาตรการหนึ่งในแผนยุทธศาสตร์ของกรมควบคุมโรคที่ใช้คาดการณ์จำนวนผู้ป่วยที่จะเกิดขึ้นเพื่อนำไปสู่การวางแผนป้องกันด้วยการกำหนดมาตรการหรือนโยบายในรูปของกิจกรรมโครงการเพื่อสร้างเสริมสุขภาพให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ป่วยเพื่อลดจำนวนผู้ป่วยในระยะยาว โดยการใช้เทคนิคการพยากรณ์หรือการวิเคราะห์อนุกรมเวลา วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method) ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ ข้อมูลทุติยภูมิผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง ปีงบประมาณ 2560 - 2566 เป็นข้อมูลเดือนมกราคม 2560 ถึงธันวาคม 2565 จำนวน 72 เดือน ใช้พยากรณ์จำนวนผู้ป่วยรายเดือน พ.ศ. 2566 เปรียบเทียบกับข้อมูลจริงเดือนมกราคม ถึง กันยายน 2566 การสร้างแบบจำลองตามวิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_m$ ด้วยฟังก์ชัน `auto.arima()` ใน `packages (forecast)` จากโมดูล `snowCluster` โปรแกรมจามาโมวี (`jamovi`)

ผลการศึกษา พบว่า แบบจำลองอนุกรมเวลา $ARIMA(2,1,1)(2,0,0)_{12}$ มีความสอดคล้องกับข้อมูลจริง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของข้อมูล 72 เดือน ของปี พ.ศ. 2560 ถึง 2565 ร้อยละ 11.02 เมื่อนำค่าพยากรณ์ปี พ.ศ. 2566 12 เดือน เทียบกับข้อมูลจริงปี พ.ศ. 2566 มกราคม ถึง กันยายน 2566 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ เฉลี่ย 9 เดือน เท่ากับร้อยละ 8.86 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้พยากรณ์ได้ดี สอดคล้องกับผลการศึกษาในประเทศกานาที่ได้นำอนุกรมเวลาพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยด้วยอนุกรมเวลาใช้ในการพยากรณ์โรคความดันโลหิตสูง แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้ยังข้อมีจำกัดเนื่องจากไม่ได้มีการนำปัจจัยอื่นๆ เช่น พฤติกรรมการบริโภคอาหาร ความเป็นอยู่ของประชากรในพื้นที่ เข้ามาร่วมในการวิเคราะห์ด้วย ในการศึกษาครั้งถัดไปต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นเพื่อให้ผลการศึกษา มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

คำสำคัญ: การพยากรณ์ ความดันโลหิตสูง ผู้ป่วยรายใหม่ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาสาธารณสุขชุมชน คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี อีเมล: Pakpoom.c@ptu.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาสาธารณสุขชุมชน คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี อีเมล: Jaroenchai@ptu.ac.th

³ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาสาธารณสุข คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: aussadawut.yo@vru.ac.th

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี อีเมล: vadhana.j@ptu.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: Pakpoom.C@ptu.ac.th

FORECASTING THE NUMBER OF HIGH BLOOD PRESSURE INCIDENTS IN PATHUM THANI PROVINCE

Pakpoom Ounhalekjit¹ Jaroenchai Ungcharoensuk² Aussadawut Yothasupap³
Vadhana Jayathavaj⁴

Abstract

Hypertension is a leading vascular disease in Thailand, often resulting in severe complications and fatalities, such as heart failure and stroke, when timely treatment is not provided. To address this, the Department of Disease Control employs disease forecasting as part of its strategy to predict the number of potential hypertension cases. This forecasting aids in the development of preventive measures and health promotion activities, aiming to reduce the disease burden over time. In this study, time series analysis using the Box-Jenkins method was utilized for forecasting. The analysis was based on secondary data of hypertension patients from the fiscal years 2017 to 2023, covering the period from January 2017 to December 2022—a total of 72 months. Monthly patient numbers for 2023 were forecasted and subsequently compared with actual data from January to September 2023. The forecasting model was constructed using the Box-Jenkins ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)m method, implemented through the `auto.arima()` function from the forecast package in the snowCluster module of the jamovi program.

The study found that the ARIMA (2,1,1)(2,0,0)12 time series model closely matched the actual data. The mean absolute percentage error (MAPE) over the 72 months from 2017 to 2022 was 11.02%. When comparing the forecasted values for the 12 months of 2023 with the actual data from January to September 2023, the MAPE over these 9 months was 8.86%, indicating a high level of forecast accuracy. This finding is consistent with a study in Ghana that used time series analysis to forecast hypertension cases. However, the results have limitations, as other factors such as dietary behaviors and living conditions of the population were not included in the analysis. Future studies should compare this method with others to improve the credibility of the results.

Keywords: Forecasting, High blood pressure, Incidents, Box and Jenkins Method

¹ Lecturer of Department of Public Health, Faculty of Allied Health Sciences, Patumthani University, e-mail: Pakpoom.C@ptu.ac.th

² Lecturer of Department of Public Health, Faculty of Allied Health Sciences, Patumthani University, e-mail: Jaroenchai@ptu.ac.th

³ Lecturer of Department of Public Health, Faculty of Public Health, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: aussadawut.yo@vru.ac.th

⁴ Lecturer of Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of Allied Health Sciences, Patumthani University, e-mail: vadhana.j@ptu.ac.th

* Corresponding author e-mail: Pakpoom.C@ptu.ac.th

บทนำ

โรคความดันโลหิตสูงเป็นโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่เป็นปัญหาสำคัญทางสาธารณสุขทั่วโลก โดยเป็นสาเหตุหลักของการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตโดยคิดเป็นประมาณ 7.5 ล้านคน หรือประมาณร้อยละ 12.8 ของการเสียชีวิตทั้งหมด (DALYs) ในการวินิจฉัยโรคความดันโลหิตสูงเบื้องต้นจะพิจารณาจากการวัดความดันโลหิตในระดับที่สูงกว่าปกติเรื้อรังอยู่เป็นเวลานาน มากกว่า 140/90 มม.ปรอท ค่าความดันโลหิตตัวบนหรือความดันขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure; SBP) มากกว่า 140 มม.ปรอท และ ความดันโลหิตโลหิตตัวล่างหรือความดันขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure; SBP) น้อยกว่า 90 มม.ปรอท ซึ่งต้องวัดอย่างน้อย 2 ครั้งในแต่ละครั้ง และวัดซ้ำห่างกัน 2 สัปดาห์ (สมาคมความดันโลหิตสูงแห่งประเทศไทย, 2562) จากรายงานผลการตรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกายครั้งที่ 6 พ.ศ. 2562-2563 ผลการคัดกรองระดับความดันโลหิตเฉลี่ยของประชาชนอายุ 15 ปีขึ้นไป เท่ากับ 124.0 และ 72.9 มม.ปรอท ตามลำดับ ผู้ชายจะมีค่าความดันโลหิตโดยเฉลี่ยสูงกว่าเพศหญิง โดยค่าความดันโลหิตตัวบนโดยเฉลี่ยของเพศชายและผู้หญิง มีค่า 127.10 และ 121.10 มม.ปรอท ตามลำดับ ส่วนค่าความดันโลหิตตัวล่างโดยเฉลี่ยของเพศชายและผู้หญิง มีค่า 74.6 และ 71.30 มม.ปรอท ตามลำดับ ค่าความดันโลหิตตัวล่างจะเพิ่มขึ้นตามอายุจนถึงวัย 60 ถึง 69 ปี หลังจากนั้นความดันโลหิตตัวล่างลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ในส่วนของรายงานการวิเคราะห์ความชุกของโรคความดันโลหิตสูงในประชาชนไทยอายุ 15 ปีขึ้นไปมีร้อยละ 25.4 ผู้ชายมีความชุกสูงกว่าของผู้หญิง (วิชัย เอกพลากร, 2564)

จากสถานการณ์ปัญหาโรคไม่ติดต่อเรื้อรังในกลุ่มโรคหัวใจและหลอดเลือดของประชากรไทยในปัจจุบัน มีจำนวนผู้ป่วยที่ป่วยเป็นโรคความดันโลหิตสูงเพิ่มมากขึ้นทุกปี ข้อมูลอัตราป่วยด้วยโรคความดันโลหิตสูง สถิติจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคความดันโลหิตสูง 5 ปีย้อนหลัง มีการรายงานข้อมูลอัตราป่วยโรคความดันโลหิตสูง 5 ปีย้อนหลัง (ต่อประชากรแสนคน) ดังต่อไปนี้ ปี พ.ศ. 2564 มีอัตราป่วย 14,618.0 รายต่อประชากรแสนคน พ.ศ. 2563 มีอัตราป่วย 14,618.0 รายต่อประชากรแสนคน พ.ศ. 2562 มีอัตราป่วย 13,361.1 รายต่อประชากรแสนคน พ.ศ. 2561 มีอัตราป่วย 12,605.5 รายต่อประชากรแสนคน (กองโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค, 2564) จะเห็นได้ว่าเมื่อความดันโลหิตยังคงสูงอยู่ตลอดเวลา ทำให้หัวใจสูบฉีดหนักขึ้นและทำงานมากขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น ภาวะหัวใจล้มเหลว โรคหลอดเลือดสมอง และภาวะไตวาย การรักษาความดันโลหิตสูงทำได้โดยการรักษาด้วยยาร่วมกับเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพเพื่อลดปัจจัยเสี่ยง ได้แก่ การออกกำลังกาย ลดการรับประทานอาหารที่มีโซเดียมหรืออาหารรสเค็ม และการฝึกควบคุมอารมณ์ จะช่วยให้ผู้ป่วยมีอาการที่ดีขึ้น (MedlinePlus, 2020)

การทำนาย (Prediction) หรือการพยากรณ์ (Forecast) จำนวนผู้ป่วยด้วยโรคเฝ้าระวังที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตจะทำให้ได้ข้อมูลการเฝ้าระวังที่เป็นประโยชน์ในการตรวจจับการระบาดของโรค ติดตามสถานการณ์โรค อธิบายธรรมชาติและการกระจายของโรคประเมินผลมาตรการควบคุมป้องกันโรคและประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นได้ (วารจนา เรียงสุทธิ, 2563) ทั้งนี้การพยากรณ์โรคเป็นมาตรการหนึ่งในแผนยุทธศาสตร์ของกรมควบคุมโรค เพื่อคุ้มครองสุขภาพของประชาชนในลักษณะของการคาดการณ์หรือการทำนายล่วงหน้าเกี่ยวกับโรคที่จะเกิดขึ้นซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้หน่วยงานทั้งส่วนกลางและส่วนภูมิภาคสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ใน

การวางแผนป้องกันและเตรียมรับมือกับโรคที่เกิดขึ้นเพื่อลดจำนวนผู้ป่วยในอนาคต เทคนิคการพยากรณ์หรือการวิเคราะห์อนุกรมเวลาที่น่าสนใจในการพยากรณ์ที่ คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method) (อินวา เจริญศิริ และคณะ, 2558) สามารถอธิบายรูปแบบของการเกิดโรคตามเวลาเพื่อใช้ประเมินผลมาตรการควบคุมป้องกันโรคและความเสี่ยงทางสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น เช่น การพยากรณ์การระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ (Tseng & Shih, 2020) โรคไข้เลือดออก (Mekpariyup & Saithanu, 2016) การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคปอดบวม (วารางคณา กิรติวิบูลย์, 2559) แต่ในทางกลับกันกลุ่มโรคไม่ติดต่ออย่างไม่มีหรือมีการศึกษาในไม่มากนักซึ่งในทางระบาดวิทยาของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable Diseases; NCDs) สาเหตุของการเกิดโรคมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ อายุ เพศ พันธุกรรม สภาพแวดล้อม พฤติกรรมที่ไม่เหมาะสม เช่น การบริโภคอาหารที่ผิด ไม่ออกกำลังกาย เป็นต้น ซึ่งมีความซับซ้อนกว่าโรคติดต่อแต่ด้วยเหตุผลของความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรคในเรื่องของเวลาเมื่อประชาชนอายุมากขึ้นแนวโน้มการเกิดโรครดังกล่าวก็พบได้มากขึ้นด้วย

การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วยแบบจำลอง ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) เป็นวิธีการแบบสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์และการพยากรณ์ข้อมูลชุดเวลา (Time series data) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก 1) Autoregression (AR) ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าในช่วงเวลาก่อนหน้า 2) Integration (I) ผลต่างระหว่างค่าในช่วงเวลาหนึ่งกับค่าในช่วงเวลาก่อนหน้า เพื่อให้ข้อมูลนิ่ง (Stationary) และ 3) Moving Average (MA) ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าในช่วงเวลาก่อนหน้า แบบจำลอง ARIMA สามารถพยากรณ์แนวโน้มของข้อมูลอนุกรมเวลาจึงมีโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยพิจารณาไปจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในช่วงเวลาก่อนหน้า ความเปลี่ยนแปลงที่ผ่านมา เพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยได้มีการนำมาใช้ในเชิงธุรกิจ เช่น ออกแบบการทำนายยอดขาย การวิเคราะห์การลงทุน หรือ วิเคราะห์แนวโน้มของตลาด อย่างไรก็ตาม มีการนำแบบจำลอง ARIMA ไปใช้ในการทำนายจำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงและโรคเบาหวานในประเทศกานา โดยใช้ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยตั้งแต่เดือนมกราคม 2559 ถึง ธันวาคม 2563 วัดความแม่นยำด้วยค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (The Mean Absolute Percentage Error - MAPE) (Asante et al., 2022) ส่วนการศึกษาจำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงได้ใช้ข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม 2558 ถึงธันวาคม 2562 (Larty et al., 2020) การพยากรณ์โรคที่เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตในประเทศฟิลิปปินส์ใช้ข้อมูลปี 2012 ถึง 2016 ทำการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยปี 2017-2020 (Talirongan et al., 2020)

จากรายงานผลการดำเนินงานประจำปีงบประมาณ 2566 เขตสุขภาพที่ 4 พบว่าประชาชนส่วนใหญ่ป่วยด้วยกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable diseases : NCDs) โดยเฉพาะโรคความดันโลหิตสูง (กระทรวงสาธารณสุข, 2566) พบว่ามีแนวโน้มผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงในจังหวัดพุมธานี มีจำนวนสูงขึ้นตั้งข้อมูลเชิงสถิติ 5 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2565 มีจำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่ ดังนี้ ปี 2561 มีจำนวน 8,635 คน ปี 2562 มีจำนวน 9,219 คน ปี 2563 มีจำนวน 10,109 คน ปี 2564 มีจำนวน 11,674 คน และ ปี 2565 มีจำนวน 9,940 คน จะเห็นว่าแนวโน้มจำนวนผู้ป่วยรายใหม่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วยสาเหตุจากพฤติกรรมสุขภาพของตัวผู้ป่วยเอง เช่น การรับประทานอาหารมัน เค็ม และ ไม่ออกกำลังกาย

(เขตสุขภาพที่ 4, 2566) ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะเริ่มให้ความสำคัญกับการป้องกันก็เมื่อได้เกิดภาวะแทรกซ้อนกับร่างกายแล้วส่งผลทำให้คุณภาพชีวิตผู้ป่วยไม่ดีขึ้นจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ ถ้าทราบแนวโน้มจำนวนผู้ป่วยที่เกิดขึ้นในอนาคตก็จะเป็นเพื่อให้ได้ตัวแบบอนุกรมเวลาที่สามารถพยากรณ์การเพิ่มขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อช่วยในการป้องกันและสามารถนำไปกำหนดกลยุทธ์แก้ไขปัญหาด้านสุขภาพโดยการเตรียมความพร้อมของผู้ปฏิบัติงานด้านการส่งเสริมสุขภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการพยากรณ์ผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่ของจังหวัดปทุมธานี ปี พ.ศ. 2566
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลอง เพื่อใช้ในการพยากรณ์ผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่ของจังหวัดปทุมธานี ปี พ.ศ. 2567 ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการพยากรณ์บอกซ์และเจนกินส์

อนุกรมเวลา คือ ข้อมูลที่เรียงลำดับตามเวลา การวิเคราะห์อนุกรมเวลาใช้เพื่อตรวจจํารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทางสถิติในช่วงเวลาปกติ คาดการณ์รูปแบบเหล่านี้เพื่อให้ได้ค่าประมาณสำหรับอนาคต วิธีการพยากรณ์ทางสถิติทั้งหมดมีลักษณะเป็นการประมาณการณ์ กล่าวคือ เกี่ยวข้องกับการฉายภาพรูปแบบในอดีตหรือความสัมพันธ์ในอนาคต อนุกรมเวลาสามารถเป็นแบบอยู่กับที่ (Stationary) และไม่อยู่กับที่ (Non-stationary) อนุกรมเวลาจะเรียกว่า คงที่ (Stationary) หากมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่

Back shift operator หรือ Lag operator B การถอยข้อมูลย้อนกลับไป h

คาบเวลา

$$By_t = y_{t-1} \quad (1)$$

$$B(By_t) = B^2 y_t = y_{t-2}$$

$$B^h y_t = y_{t-h}$$

Differencing ผลต่างของตัวแปรกับคาบเวลาก่อนหน้า

$$y'_t = y_t - y_{t-1} = y_t - By_t = (1 - B)y_t$$

$$y''_t = y_t - y_{t-1} - (y_{t-1} - y_{t-2}) = y_t - 2y_{t-1} + y_{t-2} \quad (2)$$

$$= (1 - 2B + B^2) y_t = (1 - B)^2 y_t$$

a d^{th} -order difference ผลต่างลำดับของตัวแปรลำดับที่ d

$$y_t^d = (1 - B)^d y_t \quad (3)$$

A first seasonal difference สำหรับ m คาบ ใน 1 รอบฤดูกาล

$$(1 - B)(1 - B^m) y_t = (1 - B - B^m + B^{m+1}) y_t \quad (4)$$

$$= y_t - y_{t-1} - y_{t-m} + y_{t-m-1}$$

An AutoRegressive model of order p - AR(p)

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + e_t \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \text{A Moving Average model of order } q - \text{MA}(q) \\ & y_t = c + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q} \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อนำ Differencing AR(p) และ MA(q) มารวมกัน เป็น ARIMA(p,d,q)

$$y_t^d = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q} + e_t \quad (7)$$

$$y_t^d = \nabla^d y_t$$

กรณีที่มีฤดูกาล (seasonal) ก็จะเป็น a multiplicative (p,d,q)(P,D,Q)_m SARIMA model with seasonal period “m” หรือ ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_m

P และ Q เป็นจำนวนเทอมของฤดูกาลเดียวกันย้อนไปในอดีต P และ Q เทอมตามลำดับ

เมื่อ “d” และ “D” หมายถึง จำนวนของความแตกต่าง (an order difference) ที่ไม่ใช่ฤดูกาลและตามฤดูกาล ตามลำดับ (8)

เมื่อ m เป็นช่วงเวลาใน 1 ฤดูกาล แล้ว ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_m คือ

$$\phi(B)\Phi_p(B^m)\nabla^d\nabla_m^D Y_t = \theta(B)\Theta_Q(B^m)\varepsilon_t$$

โดยที่ the autoregressive and moving average operators respectively for the non-seasonal characteristics

$$\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) \quad (9)$$

$$\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$$

The autoregressive and moving average operators for the seasonal characteristics

$$\Phi_p(B^m) = (1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \dots - \Phi_p B^p) \quad (10)$$

$$\Theta_Q(B^m) = (1 - \Theta_1 B - \Theta_2 B^2 - \dots - \Theta_Q B^Q)$$

$$\nabla^d \nabla_m^D Y_t = (1 - B)^d (1 - B^m)^D Y_t$$

การพัฒนาเกี่ยวกับทฤษฎีการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาการพิจารณาเลือกตัวแบบจากสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) กับค่าที่เกิดก่อนหน้า (Lag) จาก ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation function; ACF) และ คอเรโลแกรม (Correlogram) (Box & Jenkins, 1976; Madsen, 2008; Makridakis et al., 1982; Meese & Geweke, 1982) การเลือกแบบจำลองที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด คือ การเลือกแบบจำลองที่มีค่า p,d,q ในส่วนที่ไม่มีฤดูกาล, l, และ P,D,Q ส่วนที่มีฤดูกาล m ซึ่งเป็นความยุ่งยากเนื่องจากมีแบบจำลองที่ต้องคำนวณเป็นจำนวนมาก เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกแบบจำลอง คือ Akaike’s Information Criterion (AIC) และ the corrected AIC (AICc) ของแบบจำลองที่มีค่าน้อยที่สุด (Hyndman & Athanasopoulos, 2018)

การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดตามวิธีการบอกซ์และเจนกินส์มีความซับซ้อนที่ต้องการผู้ที่ได้รับการฝึกอบรมอย่างเหมาะสมเป็นผู้ดำเนินการ ในต่างประเทศและประเทศไทยมีการใช้วิธีการบอกซ์และเจนกินส์พยากรณ์อนุกรมเวลาในวิทยานิพนธ์ในกลุ่มนักศึกษานักศึกษามาก (Osarumwense, 2013) แต่ในธุรกิจเป็น

เรื่องปกติที่จะมีสายผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่ต้องคาดการณ์อย่างน้อยเดือนละครั้ง ดังนั้น การพัฒนาโปรแกรมที่สามารถเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งอัลกอริธึมการพยากรณ์เป็นเครื่องมือสำคัญในการประมาณการพารามิเตอร์ของแบบจำลองและคำนวณค่าพยากรณ์โดยไม่มีแทรกแซงจากผู้ใช้ ผู้ใช้โปรแกรมเพียงตัดสินใจเลือกนำค่าพยากรณ์ไปใช้งาน ซึ่งจะนำเสนอการคำนวณตัวแบบมากมายเพื่อเปรียบเทียบตามเกณฑ์การตัดสินใจ ขณะนี้ในปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมที่ให้ผลลัพธ์เป็นแบบจำลอง ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)m โดยอัตโนมัติ คือ ฟังก์ชัน `auto.arima()` ใน packages (Forecast) ที่พัฒนาด้วยโปรแกรม R ทำงานบน R Studio (Hyndman RJ & Khandakar, 2008) หรือสามารถเรียกใช้ฟังก์ชัน `auto.arima()` จากโมดูล `snowCluster >> Univariate time series` ในโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป `jamovi` ได้ (Hyndman, et al., 2022; R Core Team, 2021; Seol, 2023; The jamovi project, 2022; วัฒนา ชยธวัช, 2566)

เกณฑ์ตัดสินความแม่นยำของแบบจำลอง

ค่าข้อมูลจริง y_i จำนวน n ค่า โดย $i = 1, 2, \dots, n$ ส่วน y_i เป็นค่าพยากรณ์ สำหรับคาบเวลาตามข้อมูลที่นำมาใช้พยากรณ์ ส่วนค่าพยากรณ์ไปในอนาคต $i = n + 1, n + 2, \dots$

ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (The Mean Absolute Percentage Error - MAPE) (Andrés, 2023)

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{y_k - \hat{y}_k}{y_k} \right| \right) \times 100\%$$

MAPE หน่วยเป็นร้อยละ ถ้าน้อยกว่า 10 มีความแม่นยำสูง ระหว่าง 10-20 ใช้พยากรณ์ได้ดี ระหว่าง 20-50 มีเหตุผลพอที่จะใช้พยากรณ์ และ มากกว่า 50 ไม่มีความแม่นยำ (Lewis, 1982)

การพิทักษ์สิทธิ์ของอาสาสมัคร/กลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลรายงานข้อมูลทุติยภูมิจำนวนผู้ป่วยความดันโลหิตสูงรายใหม่โดยรวมเป็นรายเดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2560 - 2566 ของจังหวัดปทุมธานี ที่เผยแพร่สาธารณะโดยกระทรวงสาธารณสุข 2566 ไม่สามารถระบุตัวตนเป็นรายบุคคลได้ (ศูนย์ส่งเสริมจริยธรรมการวิจัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2565)

ผลการวิจัย

การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลจากระบบ Health Data Center (HDC report) ของกระทรวงสาธารณสุขได้จาก อ่างอิงและ link ที่แนบกระทรวงสาธารณสุข (2566) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ป่วยความดันโลหิตสูงรายใหม่ จังหวัดปทุมธานี (พ.ศ. 2560-2566)

จำนวนผู้ป่วยความดันโลหิตสูงรายใหม่ (ปี พ.ศ.2560-2566)							
เดือน	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
1) มกราคม	625	949	760	888	958	992	914
2) กุมภาพันธ์	757	980	713	945	798	795	787
3) มีนาคม	703	866	775	948	941	702	856
4) เมษายน	529	511	654	568	745	724	662
5) พฤษภาคม	645	608	700	576	771	839	742
6) มิถุนายน	786	577	634	686	956	781	805
7) กรกฎาคม	828	673	755	663	1,131	700	682
8) สิงหาคม	759	721	891	795	816	743	739
9) กันยายน	644	683	957	869	850	759	796
10) ตุลาคม	695	752	839	1,225	1,322	1,153	
11) พฤศจิกายน	661	713	748	1,045	1,260	941	
12) ธันวาคม	797	602	793	901	1126	811	
รวม	8,429	8,635	9,219	10,109	11,674	9,940	
ร้อยละ+เพิ่มขึ้น/-ลดลงปีต่อปี		2.44	6.76	9.65	15.48	-14.85	
ค่าเฉลี่ย	702	720	768	842	973	828	776
S.D.	83	140	89	187	186	130	75
ค่าสูงสุด	828	980	957	1,225	1,322	1,153	914
ค่าต่ำสุด	529	511	634	568	745	700	662

ที่มาของข้อมูล : Health Data Center (HDC report)

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่รวบรวมได้จาก HDC report ของกระทรวงสาธารณสุขจัดเรียงรายเดือนตามปี พ.ศ. 2561 - 2567 แล้ว จำนวนผู้ป่วยรายใหม่เพิ่มขึ้นปีต่อปีอย่างต่อเนื่องในปี พ.ศ. 2562 - 2565 คือ ร้อยละ 2.44, 6.76, 9.65, และ 15.48 ตามลำดับ ขณะที่ปี พ.ศ. 2566 จำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่กลับมีจำนวนลดลงถึงร้อยละ -14.85 อาจมาจากผลกระทบของโรคโควิด-19 เมื่อสถานการณ์โรคโควิด-19 เบาลง

การไปพบแพทย์ก็ลดลงตาม ขณะที่โรคความดันโลหิตสูงเป็นโรคที่ควบคุมได้ ถ้าได้รับการวินิจฉัยและควบคุมอย่างเร็วก็ค่าเฉลี่ยรายเดือนมีแนวโน้มจำนวนผู้ป่วยรายใหม่อยู่ที่ 1,000 ราย ต่อเดือน

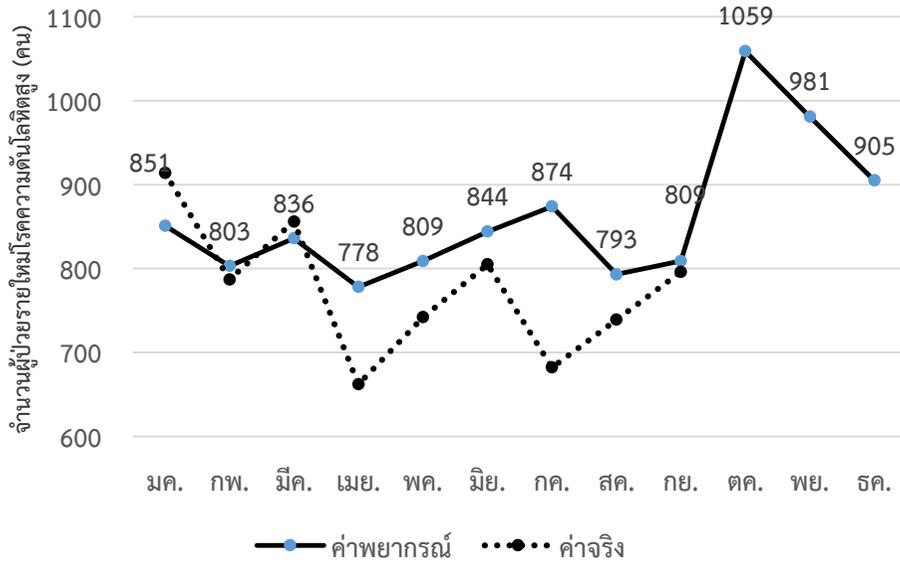
การประมวลผลด้วยโปรแกรม R ฟังก์ชัน auto.arima()

แบบจำลองที่เหมาะสม คือ ARIMA (2,1,1)(2,0,0)₁₂ มีค่าความสอดคล้องกับข้อมูลจริง AIC=894.18, AICc=895.49 และ BIC=907.75 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ MAPE ร้อยละ 11.02 ของข้อมูล 72 เดือน ปี พ.ศ. 2560 - 2565 เมื่อนำค่าพยากรณ์ปี พ.ศ. 2566 12 เดือน เทียบกับข้อมูลจริงปี พ.ศ. 2566 มกราคม ถึง กันยายน 2566 พบว่ามี MAPE เฉลี่ย 9 เดือน เท่ากับร้อยละ 8.86 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้พยากรณ์ได้ดี ดังแสดงใน ตารางที่ 2 และภาพที่ 1 ภาพที่ได้จาก โมดูล SnowCluster โปรแกรม Jamovi คือ ภาพรูปแบบข้อมูล พ.ศ. 2560 - 2565 รายเดือน 72 เดือน จำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลา (แนวโน้ม ฤดูกาล และความผันแปรสุ่ม) ภาพแผนผังกล่องข้อมูล มกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2560 - 2565 และ ภาพค่าจริง รายเดือน พ.ศ. 2560 -2565 และค่าพยากรณ์ รายเดือน พ.ศ. 2566 ดังแสดงใน ภาพที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง ARIMA(2,1,1)(2,0,0)₁₂

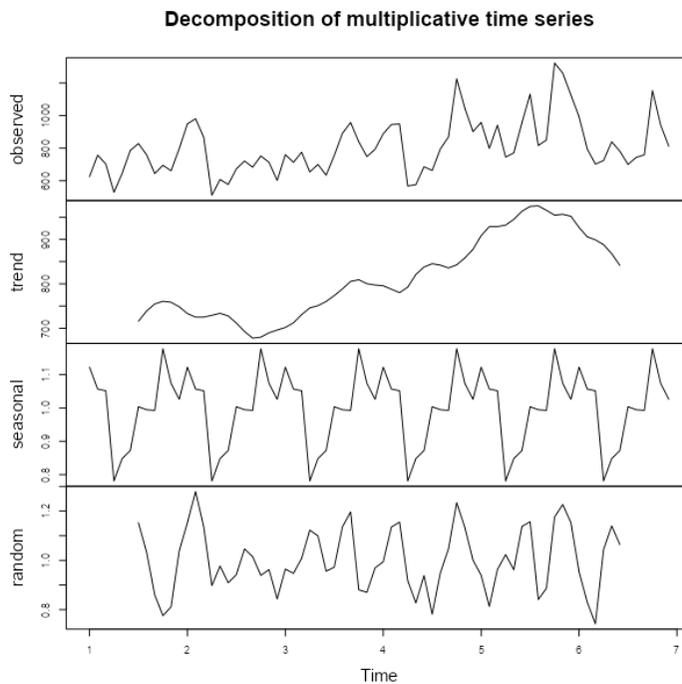
	95% CI		ปี พ.ศ. 2566		
	Lower	Upper	ค่าพยากรณ์	ค่าจริง	APE
1) มกราคม	615	1088	851	914	6.89
2) กุมภาพันธ์	506	1100	803	787	2.03
3) มีนาคม	530	1141	836	856	2.34
4) เมษายน	472	1084	778	662	17.52
5) พฤษภาคม	502	1116	809	742	9.03
6) มิถุนายน	535	1153	844	805	4.84
7) กรกฎาคม	562	1185	874	682	28.15
8) สิงหาคม	478	1108	793	739	7.31
9) กันยายน	490	1127	809	796	1.63
10) ตุลาคม	738	1380	1059		
11) พฤศจิกายน	657	1305	981		
12) ธันวาคม	578	1231	905		
				MAPE	8.86

หมายเหตุ APE คือ ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์



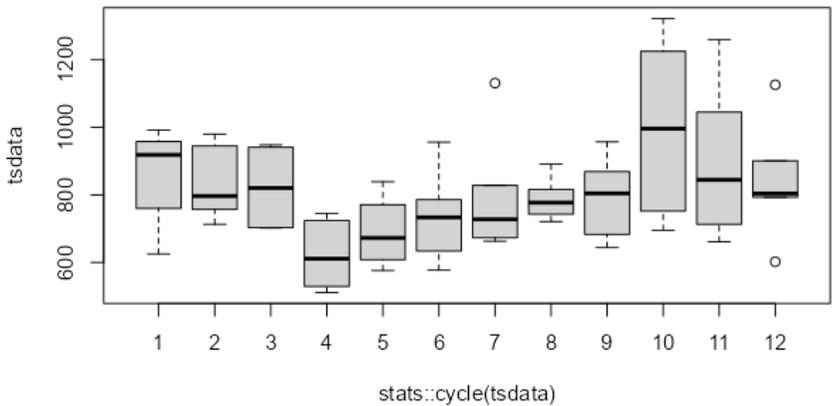
ภาพที่ 1 ค่าจริงและค่าพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยรายใหม่โรคความดันโลหิตสูง รายเดือน ปี พ.ศ. 2566

Decomposition



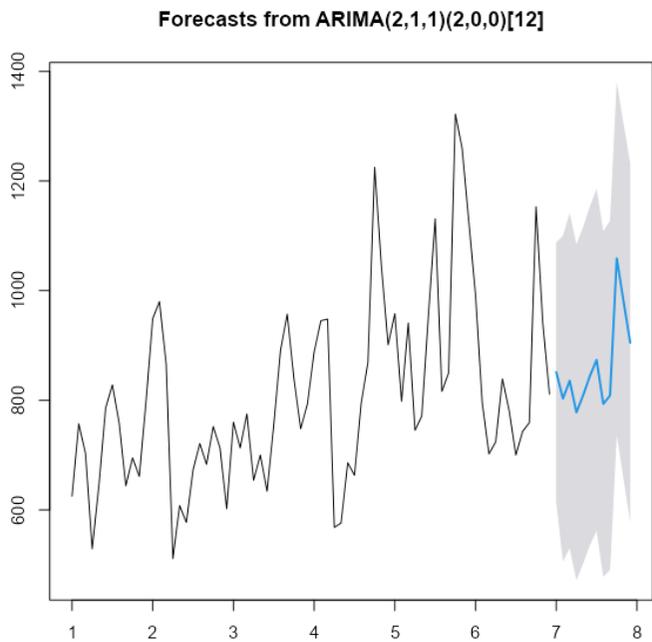
ภาพที่ 2 ภาพรูปแบบข้อมูล 72 เดือน จำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลา

Box plot



ภาพที่ 3 แผนผังกล่องข้อมูล มกราคม ถึง ธันวาคม

Prediction



ภาพที่ 4 ค่าจริงและค่าพยากรณ์

อภิปรายผล

จากการศึกษานำเสนอวิธีการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่ ด้วยอนุกรมเวลา บ็อกซ์-เจนกินส์ ด้วยโปรแกรมจาโมวี ใช้ข้อมูลรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 - 2565 จากรายงานของระบบ Health Data Center กระทรวงสาธารณสุข พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสม คือ ARIMA (2,1,1)(2,0,0)₁₂ มีค่าความสอดคล้องกับข้อมูลจริง ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับร้อยละ 11.02 ของข้อมูลจำนวน 72 เดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง 2565 และเมื่อนำค่าพยากรณ์ปี พ.ศ. 2566 จำนวน 12 เดือน เทียบกับข้อมูลจริงปี พ.ศ. 2566 มกราคม ถึง กันยายน 2566 พบว่ามี MAPE เฉลี่ย 9 เดือน เท่ากับร้อยละ 8.86 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้พยากรณ์ได้ดี สอดคล้องกับผลการศึกษาของอะซันเตและคณะ (Asante et al., 2022) ที่ได้ทำการศึกษารูปแบบการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงและโรคเบาหวาน ผลการวิเคราะห์รูปแบบที่เหมาะสม ARIMA (5, 2, 4) เป็นโมเดลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ที่จำนวนผู้ป่วยในอนาคตได้ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนดูแลผู้ป่วยและการบริหารจัดการ สำหรับการวางแผนกลยุทธ์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ในประเทศไทยได้มีการนำอนุกรมเวลาด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ มาใช้ในการทำนายจำนวนผู้ป่วยเบาหวานที่เข้ามารับการรักษาในจังหวัดขอนแก่น ได้แบบจำลองที่เหมาะสม คือ ARIMA (4,0,2) ที่สามารถนำมาทำนายของแนวโน้มจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานในอนาคตได้ (วรวิทย์ จุลทะทอง และคณะ 2563)

อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาอนุกรมเวลาที่น่าสนใจในการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ได้แก่ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน เป็นต้น ยังมีอิทธิพลจากตัวแปรความไม่แน่นอนของปัจจัยภายนอก อาทิเช่น ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ จำนวนประชากร และพฤติกรรมของประชากร อาจส่งผลต่อค่าความน่าจะเป็นของอัตราจำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่ ในจังหวัดปทุมธานี ปัจจัยดังกล่าวเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยอาจจะมีคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง อย่างไรก็ตาม การผลของการศึกษานี้สามารถนำไปขยายผลการพยากรณ์โรคในกลุ่มไม่ติดต่อเรื้อรังและ ผลข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริหารงานทางด้านสาธารณสุข เจ้าหน้าที่สาธารณสุขที่รับผิดชอบในส่วนองงานส่งเสริมสุขภาพในการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการวางแผนงานเพื่อป้องกันโรคความดันโลหิตสูงในระดับของจังหวัด และขยายผลต่อไปในระดับของภูมิภาคโดยการกำหนดมาตรการหรือนโยบายที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ซึ่งจะสามารถช่วยลดจำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงได้ในอนาคต

สรุป

การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่ล่วงหน้าด้วยอนุกรมเวลาวิธีบ็อกซ์ และเจนกินส์มีความสำคัญในการวางแผนการปฏิบัติงานด้านการสาธารณสุข เพื่อการเตรียมงบประมาณในการดำเนินโครงการรณรงค์เชิงส่งเสริมสุขภาพ ป้องกัน การบำบัดรักษาและฟื้นฟู

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า

การพยากรณ์อนุกรมเวลาใช้เพียงข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงรายใหม่จากฐานข้อมูลกระทรวงสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2560-2566 ไม่ได้มีการนำปัจจัยอื่น ๆ เช่น พฤติกรรมการบริโภคอาหาร ความเป็นอยู่ของประชากรในพื้นที่ ตลอดจนผลของการรณรงค์โดยหน่วยงานสาธารณสุขของภาครัฐร่วมด้วยแต่อย่างใด การตรวจสอบผลการพยากรณ์กับข้อมูลจริงจากรายงานของกระทรวงสาธารณสุข เพื่อพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมต่อไป

ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มข้อมูลปัจจัยที่ครอบคลุมในบริบทของพื้นที่จังหวัดปทุมธานีมาร่วมการวิเคราะห์ด้วย โดยอาจใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ เพื่อให้ผลของการพยากรณ์มีความถูกต้องแม่นยำ น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานปลัด กระทรวงสาธารณสุขที่อนุเคราะห์ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง ในจังหวัดปทุมธานี และคณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กองโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2566). อัตราป่วยรายใหม่ของโรคความดันโลหิตสูงต่อแสนประชากรในปีงบประมาณ จังหวัดปทุมธานี ปีงบประมาณ 2560 ถึง 2566. สืบค้นจาก https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?&cat_id=6a1fdf282fd28180eed7d1cfe0155e11&id=29eec762c9591d1f8092da14c7462361
- เขตสุขภาพที่ 4. (2566). รายงานผลการดำเนินงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 เขตสุขภาพที่ 4. สืบค้นจาก https://rh4.moph.go.th/upload_file_section_r4/j11vNzxORx8YtJMDPvp7x9ej0r671e.pdf
- ธันวา เจริญศิริ, ชนาธิป โสภณพิมล, ดนุสรณ์ ธนะपालะ, และวีระชัย ชันทองคำ. (2558). การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคสุกใสในจังหวัดเชียงใหม่ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์. *บูรพาเวชสาร*, 2(2), 41-49.
- ประกาศมหาวิทยาลัยมหิดล. (2565). เรื่องแนวปฏิบัติสำหรับโครงการวิจัยที่ไม่เข้าข่ายการวิจัยในคน พ.ศ. 2565. สืบค้นจาก <https://sp.mahidol.ac.th/th/LAW/policy/2565-MU-Non-Human.pdf>
- สมาคมความดันโลหิตสูงแห่งประเทศไทย. (2562). แนวทางการรักษาโรคความดันโลหิตสูงในเวชปฏิบัติทั่วไป พ.ศ. 2562. กรุงเทพฯ: ทริคอิงค์.

- ศูนย์ส่งเสริมจริยธรรมการวิจัย มหาวิทยาลัยมหิดล. (2565). **Self-Assessment form whether an activity is human subject research which requires ethical approval.** สืบค้นจาก <https://sp.mahidol.ac.th/th/ethics-human/forms/checklist/2022-Human%20Research%20Checklist-research.pdf>.
- วางแผน กิ่งวิบูลย์. (2559). ตัวแบบการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคปอดอักเสบในประเทศไทย. **วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา**, 11(1), 24-38.
- วางแผน เรียงสุทธิ. (2563). การพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยโรคเฝ้าระวังในประเทศไทย. **Thai Science and Technology Journal**, 28(1), 1-13.
- วิรัช จุลทะทอง, ถิรวัฒน์ นาคคนชม, ประภาวรรณ เสนาเพ็ง, และปิยภัทร บุชบาบดินทร์. (2563). **แบบจำลองอัตราผู้ป่วยโรคเบาหวานที่เข้ารับการรักษาในจังหวัดขอนแก่น.** The National Undergraduate Conference on Statistics 2019, 14 May 2019, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, 11-35.
- วิชัย เอกพลากร. (2564). **รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกายครั้งที่ 6 พ.ศ. 2562 - 2563.** คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรกราฟิกแอนดดิไซน์.
- วัฒนา ชยธวัช. (2563). **จาโมวี - โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูปใช้ได้เสรี.** **วารสารกองทุนพัฒนาสื่อปลอดภัยและสร้างสรรค์**, 2(3), 97-122.
- Andrés, D. (2023). **Machine learning pills: Error metrics for time series forecasting.** Retrieved from <https://mlpills.dev/time-series/error-metrics-for-time-series-forecasting/>
- Asante, D.O., Walker, A.N., Seidu, T.A., Kpogo, S.A., & Zou, J. (2022). Hypertension and diabetes in Akasi South District, Ghana: Modeling and forecasting. **Biomed Res Int**, 2022
- Box, G.E.P., & Jenkins, G.M. (1976). **Time series analysis, forecasting and control.** San Francisco: Holden-Day.
- Hyndman, R.J., Athanasopoulos, G., Bergmeir, C., Caceres, G., Chhay, L., O'Hara-Wild, M., ... & Yasmineen, F. (2024). **Forecast: Forecasting functions for time series and linear models (Version 8.22.0) [R package].** Retrieved from <https://pkg.robjhyndman.com/forecast>
- Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2018). **Forecasting: principles and practice (2nd ed.).** Retrieved from <https://otexts.com/fpp2/>
- Hyndman, R.J., & Khandakar, Y. (2008). Automatic time series forecasting: the forecast package for R. **Journal of Statistical Software**, 27(3), 1-23.

- Lartey, H., Wang, J., Lartey, P.L., Agyei, J., & Aboagye, J.S. (2020). Modeling and prediction of hypertension in Komfo Anokye Teaching Hospital (KATH), Ghana. *Global Research Journal of Public Health and Epidemiology*, 8(6), 13-21.
- Lewis, C.D. (1982). **Industrial and business forecasting methods**. London: Butterworths.
- Madsen, H. (2008). **Time series analysis**. London: Chapman & Hall/CRC.
- Makridakis S., A. Anderson, R.Fields, MD. Jibon, R. Lewandowski, J. Newton, E. Parzen, & R. Winkler. (1982). The accuracy of extrapolation (time-series) methods: Results of a forecasting competition. *Journal of Forecasting*, 1(2), 111-153.
- MedlinePlus. (2020). **High blood pressure**. Retrieved from <https://medlineplus.gov/highbloodpressure.html#summary>.
- Meese, R., & Geweke, J. (1982). **A comparison of autoregressive univariate forecasting procedures for macroeconomic time series**. Unpublished manuscript, University of California, Berkeley.
- Mekpariyup, J., & Saithanu, K. (2016). A new approach to detect epidemic of dengue hemorrhagic fever by combining ARIMA model and adjusted Tukey's control chart with interpretation rules. *Interventional Medicine and Applied Science*, 8(3), 118-120.
- Osarumwense, O.-I. (2013). Applicability of Box-Jenkins SARIMA model in rainfall forecasting: A case study of Port-Harcourt, South-south Nigeria. Canadian. *Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine*, 4(1), 1-4.
- Talirongan, F.J.B., Talirongan, H., & Orong, M.Y. (2020). Modeling national trends on health in the Philippines using ARIMA. *Journal of Health & Medical Informatics*, 11(1), 1-6. <https://doi.org/10.37421/jhmi.2020.11.342>
- The jamovi project. (2022). **jamovi (Version 2.3)[Computer software]**. Retrieved from <https://www.jamovi.org>
- R Core Team. (2021). **R: A language and environment for statistical computing (Version 4.1) [Computer software]**. Retrieved from <https://cran.r-project.org>
- Seol, H. (2023). **snowCluster: Multivariate analysis (Version 7.1.7)** [jamovi module]. Retrieved from <https://github.com/hyunsooseol/snowCluster>
- Tseng, Y.-J., & Shih, Y.-L. (2020). Developing epidemic forecasting models to assist disease surveillance for influenza with electronic health records. *International Journal of Computers and Applications*, 42(6), 616-621.

ผลของดินผสมจากผักตบชวาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบั้งจีน

สิริวรรณ สมิตธิอาภรณ์¹ ภาวดี แซ่ฮ้อ^{2*} ขวัญเรือน บุญพร³ ยุพาภรณ์ วิริยะนานนท์⁴

Received : August 29, 2023

Revised : August 10, 2024

Accepted : August 15, 2024

บทคัดย่อ

ดินผสมจากผักตบชวาเป็นดินผสมที่นำผักตบชวามาใช้เป็นวัสดุร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อช่วยเพิ่มธาตุอาหารที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชได้ ตลอดจนมีส่วนทำให้ลดปริมาณวัชพืชในแหล่งน้ำได้ โดยการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของดินผสมจากผักตบชวาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบั้งจีน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 6 สิ่งทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ สิ่งทดลองที่ 1 ดิน (ชุดควบคุม) , สิ่งทดลองที่ 2 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ (1 : 1 : 1 : 1 : 0.5) , สิ่งทดลองที่ 3 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา (1 : 1 : 1 : 1 : 0.5 : 1) , สิ่งทดลองที่ 4 ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา (1 : 1 : 1 : 0.5 : 1) , สิ่งทดลองที่ 5 ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา (1 : 1 : 1 : 0.5 : 1) , สิ่งทดลองที่ 6 ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา (1 : 1 : 0.5 : 2) จากผลการทดลองพบว่า ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 ที่ประกอบด้วย ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา (1 : 1 : 1 : 0.5 : 1) ทำให้ผักบั้งจีนมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุด ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.28 เซนติเมตร จำนวนใบ 12.65 ใบต่อต้น ความยาวใบ 18.45 เซนติเมตร น้ำหนักสดต้น 15.84 กรัมต่อต้น น้ำหนักสดราก 3.79 กรัมต่อต้น น้ำหนักแห้งต้น 1.40 กรัมต่อต้น และน้ำหนักแห้งราก 0.27 กรัมต่อต้น

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต ดินผสม ผลผลิต ผักตบชวา ผักบั้งจีน

¹ อาจารย์สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: sirioom@hotmail.com

² อาจารย์สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: parad.nuch@gmail.com

³ นักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: neumawk.norpnub@gmail.com

⁴ อาจารย์สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: sirisomy@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: parad.nuch@gmail.com

EFFECTS OF SOIL-BASED GROWING MEDIA FROM WATER HYACINTH ON THE GROWTH AND YIELD OF WATER SPINACH (IPOMOEA AQUATICA)

Siriwan Samitiarporn¹ Pharadee Saeung^{2*} Kwanruen Bunporn³ Yupaporn Wiriyananon⁴

Abstract

Soil-based growing media made from water hyacinth is a soil mixture that incorporates water hyacinth and agricultural residues to enhance nutrient content, promote plant growth, and help reduce weed presence in water sources. This study aimed to investigate the effect of soil-based media from water hyacinth on the growth and yield of water spinach (*Ipomoea aquatica*). The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with 6 treatments and 4 replications. The six treatments were: Treatment 1 (soil, control), Treatment 2 (soil : coconut dust : rice husk : cow manure : chicken manure at a ratio of 1 : 1 : 1 : 1 : 0.5, v/v), Treatment 3 (soil : coconut dust : rice husk : cow manure : chicken manure : water hyacinth at a ratio of 1 : 1 : 1 : 1 : 0.5 : 1, v/v), Treatment 4 (soil : rice husk : cow manure : chicken manure : water hyacinth at a ratio of 1 : 1 : 1 : 0.5 : 1, v/v), Treatment 5 (soil : coconut dust : cow manure : chicken manure : water hyacinth at a ratio of 1 : 1 : 1 : 0.5 : 1, v/v), and Treatment 6 (soil : cow manure : chicken manure : water hyacinth at a ratio of 1 : 1 : 0.5 : 2, v/v). The results showed that Treatment 5, which included soil, coconut dust, cow manure, chicken manure, and water hyacinth at a ratio of 1 : 1 : 1 : 0.5 : 1 (v/v), produced the highest growth and yield of water spinach, with measurements of 0.28 cm for stem diameter, 12.65 leaves per plant, 18.45 cm for leaf length, 15.84 grams of fresh plant weight per plant, 3.79 grams of fresh root weight per plant, 1.40 grams of dry plant weight per plant, and 0.27 grams of dry root weight per plant.

Keywords: Growth, Soil-based growing media, Yield, Water hyacinth, Water spinach

¹ Lecturer of Agricultural Program, Science and Technology Faculty,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, email: sirioom@hotmail.com

² Lecturer of Agricultural Program, Science and Technology Faculty,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, email: parad.nuch@gmail.com

³ Undergraduate student of Agricultural Program, Science and Technology Faculty,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, e-mail: neurnawk.norpnub@gmail.com

⁴ Lecturer of Agricultural Program, Science and Technology Faculty,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, email: sirisomy@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: parad.nuch@gmail.com

บทนำ

การปลูกพืชผักในพื้นที่เกษตรกรรมนิยมปลูกลงดิน เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่สร้างผลผลิตปริมาณมากป้อนผู้บริโภคได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อใช้ดินต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ทำให้ธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินลดลง เกษตรกรนิยมเพิ่มแร่ธาตุในดินด้วยปุ๋ยเคมีซึ่งให้ผลตอบรับรวดเร็ว แต่มีโอกาสเกิดการสะสมของสารเคมีตกค้างในดินได้ ตลอดจนปุ๋ยเคมีเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ๆ ในปัจจุบัน การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เหลือทิ้งจากการผลิตด้านการเกษตรมาเป็นส่วนผสมในดิน จึงเป็นการสร้างทางเลือกในด้านวัสดุสำหรับปลูกพืชที่ช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ลงดินได้โดยใช้วัสดุจากธรรมชาติ และส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชได้ดี ดังเช่นการศึกษาของศิริธานี วงศ์กระจ่าง และบัญชา รัตน์ทุ (2561) ทดสอบผลของการใช้ดินผสมจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น จังหวัดนราธิวาส ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่า การใช้ ดิน : เส้นใย ผลปาล์มน้ำมัน อัตราส่วน 1 : 2 ให้ความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ และน้ำหนักสดของต้นสูงที่สุด หรือการศึกษาของ ประยงค์ ธรรมสภา (2555) ศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง พบว่า การใช้วัสดุปลูกที่ประกอบด้วย ดิน : ทราย : ขี้เถ้าแกลบ : ปุ๋ยคอก (1 : 1 : 1 : 1) เป็นสูตรดินผสมที่มีค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของดาวเรืองทุกด้านมีค่าสูงสุด ดินผสมที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะลดต้นทุนการผลิต และส่งเสริมให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นได้ ตลอดจนช่วยลดการเหลือทิ้งของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีผลในการสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีได้ด้วย

นอกจากนี้ การนำผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชในแหล่งน้ำที่มีการแพร่กระจายในแหล่งน้ำปริมาณมากยากต่อการควบคุม มาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุในดินผสม ก็เป็นอีกแนวทางที่มีศักยภาพ โดยผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตสูงมาก มีการสะสมมวลชีวภาพได้สูงถึง 20 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน (ตฤณ ปฐมนิธิธิญญ และคณะ, 2565) คุณสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวา เป็นวัสดุที่มีธาตุไนโตรเจนและโปแตสเซียมสูง ได้แก่ มีไนโตรเจนรวมร้อยละ 1.52 และมีโปแตสเซียม ร้อยละ 3.93 (นุสลาวาตี จูมิง และคณะ, 2565) สอดคล้องกับการอธิบายของ Khaing (2016) ที่สรุปว่า ผักตบชวาเป็นพืชที่มีลักษณะทางเคมีกายภาพที่สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารลงสู่ดินปลูกพืชได้

ดังนั้น การนำผักตบชวามาใช้เป็นวัสดุร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในดินผสม นอกจากจะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินปลูกแล้ว ยังมีส่วนช่วยลดปริมาณวัชพืชที่สร้างปัญหาในแหล่งน้ำได้ด้วย ทั้งนี้ ดินปลูกหรือดินผสมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปนำมาใช้ในการปลูกพืชผักและไม้ดอกไม้ประดับในครัวเรือนสะดวกในการใช้งาน แต่อาจจะขาดแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช การนำผักตบชวาและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทดสอบหาส่วนผสมในการผลิตดินผสมที่มีความเหมาะสมกับพืชผัก (ผักบุ้ง) จึงเป็นเป็นเรื่องที่ควรศึกษาเพื่อนำไปแนะนำการผลิตดินผสมที่เหมาะสมให้กับเกษตรกรหรือผู้สนใจทั่วไปใช้งานได้จริงต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของดินผสมจากผักตบชวาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบั้งจีน

วิธีดำเนินการวิจัย

สถานที่ทำการทดลอง

โรงเรียนเพาะชำและปลูกพืชทดลอง สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

การเตรียมวัสดุ และการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

เตรียมวัสดุสำหรับทำดินผสม ได้แก่ ดิน แกลบดิบ ขุยมะพร้าว มูลวัว มูลไก่ ผักตบชวา โดยเตรียมวัสดุแต่ละชนิดให้มีขนาดสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน โดยวัสดุดิน ขุยมะพร้าว มูลวัว มูลไก่ ร่อนแยกให้มีขนาดไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร สำหรับผักตบชวานำส่วนของต้นและใบสดหั่นให้มีขนาดไม่เกิน 2 เซนติเมตร ฝั้ววัสดุแต่ละชนิดให้แห้งก่อนนำวัสดุมาผสมตามสัดส่วนโดยปริมาตรที่กำหนดในแต่ละสิ่งทดลอง คลุกเคล้าให้เข้ากัน หมักไว้ในถุงกระสอบพลาสติก เป็นเวลา 14 วัน

นำเมล็ดพันธุ์ผักบั้งแช่น้ำ 12 ชั่วโมง เพาะลงในกระถางปลูกพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร กระถางละ 10 เมล็ด เมื่อดันผักบั้งอายุครบ 7 วัน ทำการแยกถอนต้นผักบั้งให้เหลือในกระถางละ 5 ต้น ดูแลให้น้ำปริมาตร 500 มิลลิลิตรต่อกระถางต่อครั้ง วันละ 2 ครั้ง และเก็บเกี่ยวผลผลิตผักบั้งที่อายุ 25 วัน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD; completely randomized design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Least Significant Difference (LSD) จำนวน 6 สิ่งทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ โดยกำหนดสิ่งทดลอง ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 ดิน (ชุดควบคุม)

สิ่งทดลองที่ 2 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่

(สัดส่วนโดยปริมาตร 1 : 1 : 1 : 1 : 0.5)

สิ่งทดลองที่ 3 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา

(สัดส่วนโดยปริมาตร 1 : 1 : 1 : 1 : 0.5 : 1)

สิ่งทดลองที่ 4 ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา

(สัดส่วนโดยปริมาตร 1 : 1 : 1 : 0.5 : 1)

สิ่งทดลองที่ 5 ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา

(สัดส่วนโดยปริมาตร 1 : 1 : 1 : 0.5 : 1)

สิ่งทดลองที่ 6 ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา

(สัดส่วนโดยปริมาตร 1 : 1 : 0.5 : 2)

บันทึกผลการเจริญเติบโตและผลผลิต ดังนี้

1. ความสูง ตรวจวัดทุกสัปดาห์ โดยวัดจากโคนต้นถึงข้อสุดท้ายของยอดใบ
2. เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ตรวจวัดก่อนเก็บผลผลิต โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นตรงบริเวณกลางต้น
3. ความยาวใบ ตรวจวัดก่อนเก็บผลผลิต โดยความยาวจากโคนใบจนถึงปลายใบ ใบที่วัดเป็นใบกิ่งแก่ จำนวน 3 ใบต่อต้น
4. จำนวนใบ ตรวจวัดก่อนเก็บผลผลิต โดยนับจำนวนใบทั้งหมดของผักบุ้งแต่ละต้น
5. ผลผลิต เก็บเกี่ยวและตรวจวัดผลผลิต ดังนี้
 - 5.1 น้ำหนักสด โดยชั่งน้ำหนักสดต้น น้ำหนักสตรากของผักบุ้ง
 - 5.2 น้ำหนักแห้ง โดยนำผลผลิตสดมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งสตรากของผักบุ้ง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สมบัติทางเคมีของดินผสมก่อนปลูก

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินผสมแต่ละสิ่งทดลองก่อนปลูก แต่ละสิ่งทดลองแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของวัสดุดินผสมก่อนปลูก

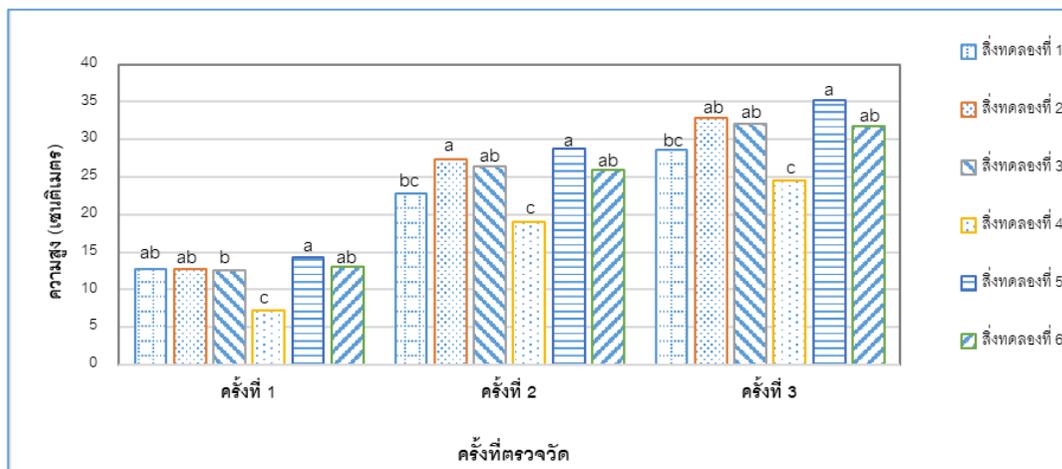
สิ่งทดลอง	pH	EC (dS/ m)	Organic Matter ^{1/} (%)	Total N ^{2/} (%)	Total P ^{3/} (%)	Total K ^{4/} (%)	Total N+P+K (%)
สิ่งทดลองที่ 1 ดิน (ชุดควบคุม)	7.49	0.24	3.85	0.26	0.09	0.52	0.87
สิ่งทดลองที่ 2 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่	7.48	1.95	13.86	0.50	0.26	0.78	1.54
สิ่งทดลองที่ 3 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ :	7.11	2.55	15.30	0.70	0.27	0.90	1.87
ผักตบชวา							
สิ่งทดลองที่ 4 ดิน : แกลบดิบ : มูล วัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	6.90	1.47	7.58	0.35	0.14	0.61	1.1
สิ่งทดลองที่ 5 ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	7.25	1.48	6.69	0.41	0.15	0.69	1.25
สิ่งทดลองที่ 6 ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	7.18	1.94	8.54	0.44	0.17	0.65	1.26

หมายเหตุ 1/ OM (Walkley and Black method); 2/ N (Kjeldahl method); 3/ P (Acid digestion, Spectroscopy); 4/ K (Acid digestion, Atomic Spectroscopy)

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินผสมแต่ละสิ่งทดลอง (ตารางที่ 1) อยู่ในช่วง 6.90-7.49 ซึ่งมีค่าเป็นกลางถึงด่างอ่อน ๆ สำหรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.24-2.55 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินผสมสิ่งทดลองที่ 2 ถึงสิ่งทดลองที่ 6 มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.69-15.30 ซึ่งมากกว่าดินชุดควบคุมที่มีเพียงร้อยละ 3.85 เท่านั้น อีกทั้งปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม และโพแทสเซียมรวม ของดินผสมในสิ่งทดลองที่ 2 ถึงสิ่งทดลองที่ 6 มีค่าอยู่ในช่วง 1.10-1.87 ซึ่งมีค่ามากกว่าดินชุดควบคุมที่มีเพียงร้อยละ 0.87 ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการนำวัสดุมูลวัว ที่มีธาตุอาหารไนโตรเจนอยู่ร้อยละ 1.91 และมูลไก่มีธาตุฟอสฟอรัสประกอบอยู่ในสัดส่วน ร้อยละ 1.89 ธาตุโพแทสเซียม ร้อยละ 1.76 (ธงชัย มาลา, 2546) ส่วนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ขุยมะพร้าว แกลบดิบ เป็นต้น เป็นส่วนหนึ่งของสารปรับปรุงบำรุงดินที่มีความสำคัญในการปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และทางชีวภาพให้กับดินมีผลทำให้พืชสามารถใช้น้ำ อากาศ และธาตุอาหารพืชในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ปิยะ ดวงพัตรา, 2553)

ความสูงของพืช

การตรวจสอบความสูงของพืชที่ระยะเวลาทุกสัปดาห์ แสดงผลในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสูงของต้นผักบุ้งจีน (เซนติเมตร) ที่ปลูกทดสอบด้วยดินผสมสูตรต่าง ๆ (ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละแท่งกราฟ แสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า ร้อยละ 99 โดยการใช้ LSD)

ผลการตรวจสอบความสูงพืชครั้งที่ 1 พบว่า การใช้ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีค่าความสูงมากที่สุด คือ 14.29 เซนติเมตร รองมา คือ สิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา), สิ่งทดลองที่ 1 (ดิน), สิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่) คือมีความสูง 12.70 – 12.98 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีค่าความสูงอยู่ที่ 12.57 เซนติเมตร และสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีค่าความสูงอยู่ที่ 7.15 เซนติเมตร

ผลการตรวจสอบความสูงพืชครั้งที่ 2 พบว่า การใช้ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และ สิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่) มีค่าความสูงมากที่สุด คือ มีค่าความสูง 27.41 – 28.75 เซนติเมตร รองมา คือ สิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และสิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) คือมีความสูง 25.89 – 26.47 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีค่าความสูง 19.06 – 22.73 เซนติเมตร

การวัดความสูงครั้งที่ 3 พบว่า การใช้ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีค่าความสูงมากที่สุดคือ 35.28 เซนติเมตร รองมา คือ สิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่), สิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และ สิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) คือมีความสูง 31.70 – 32.84 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่า สิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และ สิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีค่าความสูงอยู่ที่ 24.51 – 28.55 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ลำต้น ความยาวใบ จำนวนใบ

ผลของดินผสมจากผักตบชวาต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความยาวใบ และจำนวนใบของผักบุ้งจีน ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความยาวของใบของผักบุ้งจีน เมื่ออายุ 25 วัน

สิ่งทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบต่อดัน)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)
สิ่งทดลองที่ 1 ดิน (ชุดควบคุม)	0.18 cd	11.10 ab	14.74 c
สิ่งทดลองที่ 2 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่	0.24 ab	12.40 a	17.81 ab
สิ่งทดลองที่ 3 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	0.22 bc	11.65 ab	17.16 b

ตารางที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความยาวของใบของผักบุ้งจีน เมื่ออายุ 25 วัน (ต่อ)

สิ่งทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบต่อดัน)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)
สิ่งทดลองที่ 4 ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	0.16 d	10.20 b	13.83 c
สิ่งทดลองที่ 5 ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	0.28 a	12.65 a	18.45 a
สิ่งทดลองที่ 6 ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	0.24 ab	10.90 ab	17.71 ab
F-Test	**	**	**
C.V (%)	11.67	7.89	3.60

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า ร้อยละ 99

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

การตรวจสอบการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักบุ้งจีนสูงที่สุด คือ 0.28 เซนติเมตร รองมาคือ สิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา), สิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่) และสิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.22 - 0.24 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และ สิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.16 - 0.18 เซนติเมตร

การตรวจสอบการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบของผักบุ้งในแต่ละดินผสม พบว่า ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และสิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่) มีค่าจำนวนใบของผักบุ้งจีนสูงที่สุดคือ 12.40 - 12.65 เซนติเมตร รองมาคือ สิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และ สิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) ที่มีค่าจำนวนใบ 11.10 - 11.65 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่า สูตร สิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีจำนวนใบ 10.20 - 10.90 เซนติเมตร

การตรวจสอบการเจริญเติบโตด้านความยาวใบ พบว่า ผักบุ้งที่ปลูกในดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีค่าความยาวใบของผักบุ้งจีนยาวที่สุดคือ 18.45 เซนติเมตร รองมาคือ สิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่), ดินผสมสิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และสิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีความยาวใบ 17.16 - 17.81 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีความยาวใบ 13.83 - 14.74 เซนติเมตร

น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง

ผลของดินผสมจากผักตบชวาต่อน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักแห้งของผักบุง แสดงในตารางที่ 3 โดยจากการตรวจสอบผลผลิตน้ำหนักสดต้นของผักบุงที่ปลูกในดินผสมแต่ละสิ่งทดลอง พบว่า ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีค่าน้ำหนักสดมากที่สุดคือ 15.84 กรัม รองมาคือ สิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีค่าน้ำหนักสดต้น 13.52 กรัม ซึ่งมากกว่า สิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และสิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่) ที่มีค่าน้ำหนักสดต้น 10.46 - 11.91 กรัม ซึ่งถือว่าให้ผลผลิตได้มากหรือใกล้เคียงกับการปลูกผักบุงที่ใส่ปุ๋ยหมักมูลไก่อลงในแปลงปลูก ที่ให้ผลผลิตต้นน้ำหนักสดต้นของผักบุงอยู่ที่ 10.33 กรัมต่อต้น (วนิดา ชัยชนะ, 2562) ทั้งนี้มากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และดินผสมสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีค่าน้ำหนักสดต้น 5.12 - 5.96 กรัม

ตารางที่ 3 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักบุงจีน เมื่ออายุ 25 วัน

สิ่งทดลอง	น้ำหนักสดต้น (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักสดราก (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้งราก (กรัมต่อต้น)
สิ่งทดลองที่ 1 ดิน (ชุดควบคุม)	5.96 d	1.25 b	0.46 bc	0.11 b
สิ่งทดลองที่ 2 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่	11.91 bc	3.67 a	1.11 ab	0.28 a
สิ่งทดลองที่ 3 ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	10.46 c	2.96 a	1.28 a	0.21 a
สิ่งทดลองที่ 4 ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	5.12 d	1.14 b	0.33 c	0.08 b
สิ่งทดลองที่ 5 ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	15.84 a	3.79 a	1.40 a	0.27 a
สิ่งทดลองที่ 6 ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา	13.52 ab	3.55 a	1.20 ab	0.25 a
F-Test	**	**	**	**
C.V (%)	11.34	18.35	39.09	18.25

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นไม่น้อยกว่า ร้อยละ 99

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยการใช้ LSD

การตรวจสอบผลผลิตน้ำหนักรากของผักบั้งที่ปลูกในดินผสมแต่ละสิ่งทดลอง พบว่าดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา), ดินผสมสิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่), ดินผสมสิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และสิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีค่าน้ำหนักราก คือ 2.96 - 3.79 กรัม ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่น้ำหนักราก 1.14 - 1.25 กรัม

การตรวจสอบผลผลิตน้ำหนักรากของผักบั้งที่ปลูกในดินผสมแต่ละสิ่งทดลอง พบว่า ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีค่าน้ำหนักรากมากที่สุดคือ 1.40 กรัม รองมาคือ สิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) สิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และสิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่) ที่มีค่าน้ำหนักราก 1.11 - 1.28 กรัม ซึ่งมากกว่า สิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีน้ำหนักราก 0.33 - 0.46 กรัม

การตรวจสอบผลผลิตน้ำหนักรากของผักบั้งที่ปลูกในดินผสมแต่ละสิ่งทดลอง พบว่า ดินผสมสิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่), สิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา), ดินผสมสิ่งทดลองที่ 6 (ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) และสิ่งทดลองที่ 3 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีค่าน้ำหนักราก 0.21 - 0.28 กรัม ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และดินผสมสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ที่มีค่าน้ำหนักราก 0.08 - 0.11 กรัม

จากผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบั้งจากการใช้ดินผสมสูตรต่างๆ พบว่า ดินผสมจากผักตบชวา สิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) ให้ผลด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตมากที่สุด ซึ่งมีความใกล้เคียงกับสิ่งทดลองที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่) โดยสอดคล้องกับการทดลองของ ขจรยศ ศิรินิล และอรประภา เทพศิลป์สุทธิ (2563) ที่ทดสอบดินผสมที่ประกอบด้วย ดินร่วน : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ อัตราส่วน 1 : 1 : 1 : 1 : 0.5 ทำให้ผักสลัดกรีนโอ๊ค มีน้ำหนักรากมากที่สุด ทั้งนี้สูตรดินผสมในสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) นี้ เป็นสูตรที่ไม่มีแกลบดิบในส่วนผสมแสดงให้เห็นว่าสามารถเลือกใช้ผักตบชวามาทดแทนแกลบดิบเพื่อปลูกผักบั้งเงินได้ อาจเป็นผลเนื่องจาก ผักตบชวา มีสัดส่วนของธาตุอาหาร N, P, K ร้อยละ 1.68, 0.26, 4.05 ตามลำดับ ซึ่งเทียบกับธาตุอาหารดังกล่าวในแกลบดิบมีเพียง 0.35 , 0.08 , 0.58 ตามลำดับ (โสฬส แซ่ลิ้ม, 2559) ส่วนมูลวัวและมูลไก่เป็นปุ๋ยคอกที่มีธาตุอาหารสูง ตามการรายงานของสุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และคณะ (2553) แสดงสัดส่วนธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ของมูลไก่ คือร้อยละ 2.59, 1.96 และ 2.29 ตามลำดับ ส่วนมูลโคคือ 1.36, 0.51 และ 1.71 ตามลำดับ ทั้งนี้ น้ำหนักรากเหนือดินของผักบั้งเงินจะแปรผันตามปริมาณไนโตรเจนที่ผักบั้งเงินได้รับ (อรประภา อนุกุลประเสริฐ และคณะ, 2558) ตลอดจนดินผสมดังกล่าวอาจมี

โครงสร้างที่เหมาะสมต่อการเติบโตของผักบุง ส่งผลให้ดินผสมดังกล่าวมีผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุง สูงที่สุด อีกทั้ง อินทรีย์วัตถุที่มีในวัสดุของดินผสมจะค่อยๆ ย่อยสลายเป็นธาตุอาหารให้กับพืช โดยการย่อยสลาย และการปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น (นัทธีรา สรรพณี และคณะ, 2566) สอดคล้องกับการทดสอบของ สามารถ ใจดี (2565) ที่พบว่า การผสมวัสดุอินทรีย์ที่หลากหลายในวัสดุปลูกดินผสม ได้แก่ ใบกิ้งมะม่วง ใบกิ้งลำไย เศษต้นรากและเปลือกหอมแดงแห้ง ดินร่วน ใบจามจุรีแห้ง มูลโคนมแห้ง และน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน มาทำเป็นวัสดุปลูกให้ผลดีมากกว่าการปลูกในดินร่วนอย่างเดียว โดยเป็นผลจากวัสดุอินทรีย์ที่หลากหลาย ส่งผลดีในการปลดปล่อยปริมาณธาตุอาหารและลักษณะทางกายภาพทั้งความหนาแน่น ความชื้น ความพรุนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดใบกรีนโอ๊ค

ทั้งนี้ การนำผักตบชวามาทำเป็นวัสดุในการหมักจะเริ่มมีการสลายธาตุอาหาร ตรวจพบธาตุอาหารที่เปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่วันที่ 10 ของการหมักและมีปริมาณมากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการหมักมากขึ้น (เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ, 2557) ดังนั้น ผักตบชวาที่นำมาผสมในดินผสม จึงเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่พร้อมปลดปล่อยธาตุอาหาร ให้กับดินผสมได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบการไม่ใส่ผักตบชวาลงผสมในดิน (Balasubramanian et al., 2013) โดยดินผสมจากผักตบชวามีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความยาวใบ และจำนวนใบ ของต้นผักบุงจีน ส่งเสริมให้ต้นผักบุงจีนมีการเจริญเติบโตในด้านต่าง ๆ ได้ดี มีผลต่อการสร้างผลผลิตของต้นผักบุงจีน ทางด้านน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง โดยส่งเสริมให้ต้นผักบุงจีนมีการสะสมน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งได้ดี เนื่องมาจากองค์ประกอบผลผลิตในแต่ละหน่วยทำหน้าที่เก็บสารอาหารที่สังเคราะห์ได้จาก การสังเคราะห์แสงและจะถูกเก็บเกี่ยวไปเป็นผลผลิตในที่สุด (ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย, 2559) สอดคล้องกับการทดสอบของ Vidya & Girish (2014) ทำการทดสอบนำผักตบชวามาผสมกับดิน เพื่อปลูกข้าวสาลี พบว่า ทำให้ ความงอก ความยาวยอด ความยาวราก และน้ำหนักสด ของต้นกล้าข้าวสาลีสูงกว่าดินปลูกปกติ ทั้งนี้หาก พิจารณา ผลการทดลอง ด้านน้ำหนักสดต้นและราก พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ดิน : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา ให้ผล การทดสอบที่ดี เทียบเท่าสิ่งทดลองที่ 5 ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา แสดงว่าการนำผักตบชวา มาทดแทน ขุยมะพร้าวและแกลบดิบ ยังสามารถทำให้ การเจริญเติบโตของผักบุงจีนทั้งด้านต้นและรากเจริญได้ดี สอดคล้องกับการทดลองของปทุมณา ทะรังศรี และคณะ (2565) ที่ทดสอบนำผักตบชวามาหมักร่วมกับของเสีย เหลือใช้ชานอ้อย มูลจิ้งหรีด และน้ำกากสากจากกระบวนการผลิตเอทานอล พบว่า วัสดุปลูกดังกล่าวให้ผลการ เจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอคมากกว่าการปลูกในดินหรือการปลูกในพีทมอสซึ่งเป็นวัสดุปลูกที่มีอยู่ ทั่วไปในท้องตลาด สำหรับผลการทดสอบของสิ่งทดลองที่ 1 (ดิน) และดินผสมสิ่งทดลองที่ 4 (ดิน : แกลบดิบ : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุงน้อยที่สุด เนื่องมาจากปริมาณธาตุ อาหารที่พบในดินผสมสูตรดังกล่าวมีค่าต่ำ (ตารางที่ 1) ได้แก่ มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม รวมกันน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.87 และ 1.10 ตามลำดับ

สรุป

การใช้ดินผสมจากผักตบชวาปลูกผักบุ้งจีน มีผลทำให้ผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุ้งจีนสูงกว่าการปลูกในดินปกติ โดยการใช้ดินผสมสิ่งทดลองที่ 5 (ดิน : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : มูลไก่ : ผักตบชวา) มีการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุ้งจีนมากที่สุด คือ ให้การเจริญเติบโตด้านความสูง 35.28 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.28 เซนติเมตร ความยาวใบ 18.45 เซนติเมตร จำนวนใบ 12.65 ใบ และให้ผลผลิตด้านน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักแห้งต้นของผักบุ้งจีน เท่ากับ 15.84 กรัมต่อต้น และ 3.79 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งราก 1.40 กรัมต่อต้น และ 0.27 กรัมต่อต้น ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยงานคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ขจรยศ ศิรินิล, และอรประภา เทพศิลป์สุทธิ. (2563). การพัฒนาวัสดุดินผสมเพื่อการเพาะปลูกผักสลัดกรีน
ไอศ. แก่นเกษตร, 48(5), 990-1001.

ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย. (2559). **สิริวิทยาพืชไร่**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่.

เฉลิมชัย แพะคำ, บุญร่วม คิดคำ, มนัส ทิพย์วรรณ, และวิพรพรรณ เนื่องเม็ก. (2557). การศึกษาปริมาณธาตุ
อาหารพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยเชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท UPPY19.

แก่นเกษตร. 42(1), 671-676.

ตฤณ ปฐมนิธิภิญโญ, อาริยา คงอิม, ทิพย์รัตน์ ร่วมสำโรง, อรสา จัดดีเรียน, และเอกราชชัย ไชยชนะ. (2565).

การผลิตภาชนะชีวภาพจากผักตบชวา. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยราช

ภัฏนครปฐม, 7-8 กรกฎาคม 2565 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม.

ธงชัย มาลา. (2546). **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นัทธีรา สรรมณี, ปิยะมล อัจจินดา, และกมลชนก พาณิชการ. (2566). อิทธิพลของกระบวนการหมักต่อการ

ปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม. *PSRU Journal of Science and*

Technology, 8(1), 1-12, 2023

- นุสลาชาติ จูมิง, รุสนีดา ดอเลาะ, ภาณุ คชนอง, และจุฑามาศ แก้วมณี. (2565). **การผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากกากกาแฟ ผักตบชวา และขุยมะพร้าว**. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาภาคใต้ ครั้งที่ 7 ประจำปี 2565, 10-11 มีนาคม 2565 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี.
- ประยงค์ ธรรมสุภา. (2555). การศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง. **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์**, 7(1), 26-31.
- ปิยะ ดวงพัตรา. (2553). **สารปรับปรุงดิน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปฎนดา ทะรังศรี, ชัชวรินทร์ นวลศรี, คงเดช พะสีนาม, อ้นवास กาศสนุก, และจักรกฤษ ศรีละออ. (2565). ผลของผักตบชวาหมักร่วมกับของเสียเหลือใช้ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนไอ้ค. **Life Sciences and Environment Journal**, 23(1), 196-207.
- วนิดา ชัยชนะ. (2562). ประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักบุ้งจีน. **วารสารเกษตรพระวรุณ**, 16(1), 81-90.
- ศิริภาณี วงศ์กระจ่าง, และบัญชา รัตน์ฑู. (2561). ผลของการใช้ดินผสมจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น จ.นราธิวาสต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนไอ้ค. **แก่นเกษตร**, 46(1), 1156-1160.
- สามารถ ใจเตี้ย. (2565). ผลของวัสดุปลูกจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดใบพันธุ์กรีนไอ้ค. **วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร**, 4(3), 13-21.
- สุกัญญา จัตตพรพงษ์, ปฎิมา อู่สูงเนิน, และอุทัย คันโช. (2553). **เอกสารวิชาการ เรื่องการใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่าง ๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจ**. นครปฐม: สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจเพื่อการค้นคว้าพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- โสฬส แซ่ลิ้ม. (2559). **ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย**. กลุ่มวิจัยและพัฒนากิจการอินทรีย์วัตถุ. กองเทคโนโลยี ชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.
- อรประภา อนุกุลประเสริฐ, พิสนีย์ บุญวัฒนากุล, และสมชาย ชคตระการ . (2558). ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ปุ๋ยเคมี และการใช้ร่วมกันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatic* Forsk.). **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23(6), 971-982.
- Balasubramanian, D., Arunachalam, K., Arunachalam A., & Das A.K. (2013). Water hyacinth [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.] engineered soil nutrient availability in a low-land rain-fed rice farming system of north-east India. **Ecological Engineering**, 58, 3-12.

- Khaing, M.T. (2016). Characterization on Organic Fertilizer of Eichhornia crassipes (Mart.) Solms (Beda). **Yadanarbon University Research Journal**, 7(1), 1-12.
- Vidya, S., & Girish, L. (2014). Water hyacinth as a green manure for organic farming. **IMPACT: International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences**, 2(6), 65-72.

การใช้ประโยชน์จากเปลือกส้มโอสีชาวดแทนเนื้อส้มบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม

เขาวลิต อูฐราก¹ เปรมระพี อูยมาวีระหิรัญ² สุมภา เทิดขวัญชัย³ ปรศนีย์ ทับใบแยม^{4*}

Received : November 2, 2023

Revised : August 14, 2024

Accepted : August 19, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานแยม 2) เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเปลือกชาวดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม 3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์แยม และ 4) เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์แยมจากเปลือกชาวดแทนเนื้อส้ม ผลการศึกษา พบว่า สูตรพื้นฐานจำนวน 4 สูตร ในส่วนของสูตรพื้นฐานของแยมส้ม พบว่า ผู้ชิมให้การยอมรับสูตรที่ 3 มากที่สุดในทุกด้าน ซึ่งสูตรที่ผู้ชิมให้การยอมรับมีปริมาณเนื้อส้ม และน้ำตาลทรายที่เหมาะสมในการทำแยม โดยที่ไม่ต้องมีความเปรี้ยวจากกรดซิตริกแต่ได้จากเนื้อส้มและน้ำตาลทรายที่ลงตัว เปลือกชาวดแทนเนื้อส้มที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์แยมผู้ชิมให้การยอมรับปริมาณเปลือกชาวดแทนเนื้อส้ม อัตราส่วนระหว่างเปลือกชาวดแทนเนื้อส้มแมนดารินที่ 60:40 ในทุกด้าน โดยมีค่าเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ที่ 7.40, 7.15, 7.15, 7.20, 7.20 และ 7.50 ตามลำดับ อยู่ในระดับความชอบปานกลาง ซึ่งมีลักษณะของแยมมีทั้งความวาว ชื่นเหนียวเวลาคนแยมได้ดีทดแทนปริมาณเปลือกชาวดแทนเนื้อส้มในแยมมากเกิดจะส่งผลให้ความชื้นเหนียวและความวาวลดลง องค์ประกอบทางเคมีของแยมจากเปลือกชาวดแทนเนื้อส้มสูตรที่ 2 (60:40) พบว่า พลังงาน 157 Kcal. ไขมัน ร้อยละ 0.1 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 38.9 น้ำตาล ร้อยละ 32.2 โซเดียม 120 มก. ความชื้น ร้อยละ 60.44 และ เถ้า ร้อยละ 0.34 คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) 30.90 ค่าสีเขียว (a*) 5.50 และค่าสีเหลือง (b*) 32.99 การทดสอบผู้บริโภครวมที่มีผลต่อเปลือกชาวดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม พบว่า ในด้านความชอบที่มีต่อเปลือกชาวดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม ผู้บริโภคให้การยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความชอบโดยรวมมีค่าเฉลี่ย 7.58 7.36 7.39 8.75 และ 8.28 ตามลำดับ อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ด้านการยอมรับปริมาณเปลือกชาวดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม ผู้บริโภคให้การยอมรับแยมเปลือกชาวดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม ร้อยละ 82 และไม่ยอมรับร้อยละ 18

คำสำคัญ: การใช้ประโยชน์ ผลิตภัณฑ์เปลือกชาวดแทนเนื้อส้มในแยม

¹ อาจารย์สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อีเมล: chaowalit.a@rmutp.ac.th

² อาจารย์สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อีเมล: premraphi.o@rmutp.ac.th

³ อาจารย์สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อีเมล: summapa.t@rmutp.ac.th

⁴ อาจารย์สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อีเมล: prassanee.t@rmutp.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: prassanee.t@rmutp.ac.th

UTILIZATION OF WHITE POMELO PEEL TO REPLACE SOME OF THE ORANGE PULP IN JAM PRODUCTS

Chaowalit Auppathak¹ Premraphi Ooaymaweerahirun² Summapa Terdkwanchai³
Prassanee Tubbaiyam^{4*}

Abstract

The objectives of this research were 1) to develop a basic jam recipe, 2) to determine the appropriate amount of white pomelo peel in jam products, 3) to analyze the physical and chemical properties of the jam, and 4) to evaluate consumer acceptance of jam made with white pomelo peel. The study found that out of four basic orange jam recipes, Formula 3 was the most preferred by tasters in all aspects. This recipe, which contained a high amount of orange pulp and sugar, was ideal for making jam without the addition of citric acid, relying instead on the natural balance of orange pulp and sugar for its flavor. The optimal ratio of white pomelo peel in jam, according to tasters, was 60:40, with appearance, color, smell, flavor, texture, and overall liking scores of 7.40, 7.15, 7.15, 7.20, 7.20, and 7.50, respectively, indicating a moderate level of acceptance. The jam had a glossy and viscous texture that broke apart well when stirred. However, increasing the amount of white pomelo peel reduced the jam's viscosity and luster. The chemical composition of the 60:40 white pomelo peel jam (Formula 2) was found to be 157 Kcal energy, 0.1% fat, 38.9% carbohydrates, 32.2% sugar, 120 mg sodium, 60.44% moisture, and 0.34% ash. Physically, the jam had a brightness value (L^*) of 30.90, a green value (a^*) of 5.50, and a yellow value (b^*) of 32.99. Consumer testing revealed that white pomelo peel could potentially replace orange pulp in jam products. Sensory acceptance scores for appearance, color, aroma, taste, and overall liking were 7.58, 7.36, 7.39, 8.75, and 8.28, respectively, indicating a moderate to high level of liking. Additionally, 82% of consumers accepted the use of white pomelo peel as a substitute for orange pulp in jam products, while 18% did not.

Keywords: Uses, White pomelo peel products, Pomelo jam

¹ Lecturer in Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, e-mail: chaowalit.a@rmutp.ac.th

² Lecturer in Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, e-mail: premraphi.o@rmutp.ac.th

³ Lecturers in Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, e-mail: summapa.t@rmutp.ac.th

⁴ Lecturers in Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, e-mail: prassanee.t@rmutp.ac.th

* Corresponding author, e-mail: prassanee.t@rmutp.ac.th

บทนำ

แยม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้วิธีการถนอมอาหารโดยการใช้น้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก แยมโดยทั่วไปได้มาจากการต้มเนื้อผลไม้กับน้ำตาล กรดซิตริก และเพคตินในปริมาณที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล แยมเป็นที่ได้รับความนิยม ส่วนมากจะรับประทานกับอาหารมื้อเช้าเพื่อใช้เป็น อาหารว่าง โดยทาบนขนมปังแต่ส่วนผสมของแยมจะมีส่วนผสมของน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งให้พลังงานสูงการบริโภคน้ำตาลซูโครสมากเกินไปจะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ และโรคอ้วน (ฉวรา เปลี่ยนบุญเลิศ, 2562) มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแยม เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมมะม่วงผสมหอมแดง (สามารถ สายอูต และคณะ, 2556) ผลการวิจัย พบว่า สูตรผลิตภัณฑ์แยมมันม่วงผสมหอมแดงที่มีอัตราส่วนของหอมแดงต่อมันม่วงที่ 25:75 โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบมากที่สุด ในส่วนของปริมาณเพกตินนั้น แยมมันม่วงผสมหอมแดงที่ใช้ปริมาณเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบในด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวมสูงกว่าการใช้เพกตินในปริมาณอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสูตรแยมมันม่วงผสมหอมแดงที่เหมาะสมประกอบด้วย มันม่วงบดหอมแดงบด น้ำสะอาด น้ำตาล น้ำมะนาว เกลือ และเพกตินเท่ากับร้อยละ 24.87, 8.29, 33.16, 31.17, 0.50, 0.01 และ 2.00 ตามลำดับ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมกระเจี๊ยบผสมอินทผลัมจากเครือใบหามาน้อย (จรรยา โทษะนาบุตร, 2564) ผลการวิจัย พบว่า สูตรต้นตำรับในการผลิตแยมกระเจี๊ยบคือสูตรที่ 1 ได้รับคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวมของประสาทสัมผัสทุกด้านมากที่สุด คือ 7.75 (S.D. \pm 0.46), 7.50 (S.D. \pm 1.20), 7.75 (S.D. \pm 0.71), 7.75 (S.D. \pm 1.28) และ 8.13 (S.D. \pm 0.83) ตามลำดับ โดยประกอบด้วยส่วนผสมของกระเจี๊ยบแดงเข้มข้น 55% น้ำตาล 44.4% น้ำสะอาด 1% เพกติน 1% กรดซิตริก 0.4% อัตราส่วนของใบเครือหามาน้อยและอินทผลัม พบว่า 100:20(%) ได้รับคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวมของประสาทสัมผัสทุกด้านสูงที่สุด คือ 7.70 (S.D. \pm 1.09), 7.10 (S.D. \pm 1.16), 7.47 (S.D. \pm 1.55), 7.57 (S.D. \pm 1.04) และ 7.63 (S.D. \pm 1.00) ตามลำดับ เป็นต้น

ส้มโอ เป็นผลไม้ตระกูลส้มที่รู้จักกันมาช้านานและเป็นหนึ่งในผลไม้เศรษฐกิจที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย ส้มโอสามารถให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานจนถึงระยะเวลาการวางขายในตลาด เนื่องจากมีเปลือกหนา และมีราคาสูง จึงทำให้เกษตรกรนิยมปลูกส้มโอ เพื่อบริโภคในครอบครัว และปลูกเป็นการค้า และเป็นที่ทราบกันว่าเนื้อส้มโอเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญ มีสรรพคุณทางยา และมีวิตามินซีสูง จึงทำให้ผู้นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ ส่งผลให้ส้มโอกลายเป็นผลไม้เศรษฐกิจส่งออกที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศ (สมคิด เทียมรัมย์, 2548) เปลือกส้มโอถือว่าเป็นผลพลอยได้จากการบริโภคเนื้อส้มโอ เปลือกส้มโอจะมีใยอาหารในปริมาณที่มากแล้ว เปลือกส้มโอยังมีสารสำคัญ คือ นารินจิน (Naringin) ซึ่งเป็นสารพวก ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ที่ให้รสขม โดยสารชนิดนี้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งลดระดับน้ำตาลในเลือด และป้องกันการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดหัวใจ (เสาวภา ไชยวงศ์ และคณะ, 2553) ส้มโอนครไชยศรีเป็นผลไม้ที่อยู่คู่กับจังหวัดนครปฐมมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งจะเห็นได้จากการนำเอาส้มโอมาย่างทอดผ่านคำขวัญประจำจังหวัดนครปฐม และด้วยรสชาติที่หวานอร่อยกว่า

ส้มโอพันธุ์อื่น ๆ จึงทำให้ส้มโอนครไชยศรีถูกนำไปขจัดทะเบียนใช้ตราสัญลักษณ์สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทยโดยกรมทรัพย์สินทางปัญญาแต่เนื่องจากปัญหาน้ำท่วมใหญ่ในปี 2554 มีผลทำให้สวนส้มโอนครไชยศรีเสียหายล้มตายเป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกษตรกรและหน่วยงานในพื้นที่ใกล้เคียงเร่งอนุรักษ์ และพัฒนาจนสามารถพัฒนาด้านการคงอยู่ของส้มโอนครไชยศรีเอาไว้ได้ จากงานวิจัยของ Roy et al. (2018) พบว่า เพกตินที่สกัดจากเปลือกส้มโอสามารถนำมาใช้แทนเพกตินเชิงพาณิชย์ในแยมแครอทได้สำเร็จ ช่วยให้แยมมีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น เก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น และยังช่วยลดการใช้สารเคมีอีกด้วย และ Adedeji (2017) ได้ทำการพัฒนาแยมจากแตงโมและมะละกอโดยใช้เปลือกส้มโอเป็นส่วนผสมหลัก พบว่า แยมเหล่านี้มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง เหมาะกับผู้ที่รักสุขภาพ ทั้งนี้ รสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของส้มโอ โดยเฉพาะความหวานและความเปรี้ยว รวมทั้ง Cheong et al. (2012) ชี้ให้เห็นว่าส้มโอมีศักยภาพที่จะนำมาเป็นส่วนผสมในแยม ช่วยเพิ่มรสชาติ และความน่าสนใจให้กับแยมได้อีกด้วย

ปัจจุบันรัฐจึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในพัฒนาผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นมากขึ้น รวมไปถึงสินค้าแปรรูปต่าง ๆ เพื่อเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจโดยเน้นการส่งเสริมธุรกิจชุมชนให้ชาวบ้านมีรายได้เป็นของตนเองสามารถพึ่งพาตัวเองได้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นด้วยการนำสินค้า และภูมิปัญญาท้องถิ่นมาปรับใช้และพัฒนาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อความต้องการของประชาชน ซึ่งจะเป็นการช่วยอนุรักษ์ผลผลิตท้องถิ่นให้คงอยู่ต่อไป อุตสาหกรรมอาหารแปรรูปมีความสำคัญต่อการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากผู้ผลิตสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบจากผลผลิตการเกษตรผ่านกระบวนการแปรรูป แปลงสภาพให้เป็นอาหารที่ผู้บริโภคต้องการเกิดการจ้างงานขึ้นในท้องถิ่น ชาวบ้านมีรายได้ที่มั่นคง และยั่งยืนมากขึ้น และเพื่อต้องการอนุรักษ์ผลิตภัณฑ์จากเปลือกส้มโอ ชาว สามารถสร้างงาน และรายได้ให้แก่ชาวบ้านในชุมชน การลงสำรวจพื้นที่ของทีมนักวิจัย พบว่า กลุ่มเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนส้มโอนครไชยศรี เลขที่ 26/1 หมู่ 8 ตำบลท่าตลาด อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม จัดได้ว่าเป็นแหล่งปลูกส้มโอประจำจังหวัดที่สำคัญเป็นที่นิยมของนักท่องเที่ยวให้กับสมาชิกในชุมชนที่นอกเหนือจากการประกอบอาชีพเกษตรกรรม รับผิดชอบ ในผลผลิตของส้มโอ และทางกลุ่มวิจัยได้สำรวจกับกลุ่มชุมชน พบว่า สินค้าจากส้มโอ หรือส่วนเหลือใช้ยังไม่มีการพัฒนาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์จากส่วนประกอบของเปลือกส้มโอไม่มีรูปแบบที่ชัดเจนที่แสดงเอกลักษณ์ของชุมชน เป็นการนำสินค้ามาจากแหล่งอื่นในเขตภาคต่าง ๆ มาจำหน่ายร่วมกับสินค้าของชุมชน สินค้าที่โดดเด่นจะมีเฉพาะส้มโอ ซึ่งเป็นเชิงอนุรักษ์ และมีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในวงการแต่ยังมีกลุ่มคนอีกเป็นจำนวนมากที่ยังไม่มีโอกาสมีส่วนร่วมประกอบของส้มโอมาใช้งานที่ให้เกิดความหลากหลาย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานแยม
- 2) เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม
- 3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์แยม
- 4) เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์แยมจากเปลือกขาวส้มโอ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาสูตรพื้นฐานแยม

ผู้วิจัยศึกษาศึกษาสูตรพื้นฐานแยมจำนวน 4 สูตรซึ่งมีวิธีการทำตั้งแผนภูมิที่ 1 นำผลิตภัณฑ์ไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Point Hedonic Scale) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน โดยใช้วิธีการทดลองชิมกับขนมปัง วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบหาความแตกต่าง (Duncan’s New Multiple’s Range Test, DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ตารางที่ 1 แสดงสูตรแยมจำนวน 4 สูตร

วัตถุดิบ	น้ำหนักวัตถุดิบ (กรัม)			
	สูตรที่ 1 (ครัวพิศพิไร, ม.ป.ป)	สูตรที่ 2 (เปียร์ เลิฟทูอิทส์, ม.ป.ป)	สูตรที่ 3 (พิมพ์มี เทสต์, ม.ป.ป)	สูตรที่ 4 (มาตามตวง, ม.ป.ป)
เนื้อส้มแมนดารินแช่แข็ง	1000	1300	750	600
น้ำตาลทราย	350	400	285	200
เกลือ	4	-	4	2
น้ำมะนาว	45	45	-	56
น้ำผึ้ง	-	-	85	-
น้ำเปล่า	-	200	250	900

ใส่เนื้อส้ม น้ำส้ม น้ำตาลทราย น้ำผึ้ง และเกลือ ลงในกระทะสำหรับกวนแยม



ตั้งไฟอ่อน เคี่ยวจนแยมเหนียวตามต้องการ กวนตลอดประมาณ 30 นาที



ละลายเจลาตินในน้ำเย็น ใส่ลงในแยม คนให้เข้ากัน ปรงรสด้วยน้ำมะนาว เป็นเวลา 2 นาที

แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการทำแยมส้มสูตรพื้นฐาน

2. ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม

นำสูตรพื้นฐานที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุดมาศึกษาความเป็นไปได้โดยเริ่มต้นร้อยละ 100:0 และ 20:80 เพื่อหาความเป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์จากผู้ทดสอบให้ข้อเสนอแนะเพิ่มปริมาณเปลือกขาวส้มโอในปริมาณเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยมในปริมาณที่แตกต่างกัน 4 ระดับ อัตราส่วนระหว่างเนื้อส้มแมนดารินแช่แข็งต่อเปลือกขาวส้มโอที่ 100:0, 60:40, 40:60 และ 20:80 นำไปประเมินคุณภาพทาง

ประสาทสัมผัสในส่วนทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 – Point hedonic scale) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 80 คน ซึ่งเป็นอาจารย์และนักศึกษา สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบชิมจะวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมปริมาณเปลือกขาวส้มโอที่ทดแทนเนื้อส้มบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยมต่างกัน 4 ระดับ

วัตถุดิบ	น้ำหนักวัตถุดิบ (กรัม)			
	สูตรที่ 1 (ร้อยละ 100:0)	สูตรที่ 2 (ร้อยละ 60:40)	สูตรที่ 3 (ร้อยละ 40:60)	สูตรที่ 4 (ร้อยละ 20:80)
เปลือกขาวส้มโอ	0	300	450	600
เนื้อส้มแมนดารินแช่แข็ง	750	450	300	150



หั่นเปลือกส้มโอเฉพาะส่วนขาวเป็นชิ้นขนาด 2x2 เซนติเมตร



นำเปลือกส้มโอที่หั่นแล้วแช่ด้วยน้ำเกลือ ในอัตราส่วนน้ำ 1000 กรัม ต่อเกลือ 50 กรัม โดยน้ำหนักเปลือกส้มโอต่อน้ำหนักเกลือใช้เวลาการแช่ 2 ชั่วโมง จากนั้นล้างเปลือกส้มโอ



นำเปลือกส้มโอขาวต้มกับน้ำและเกลือ โดยใช้น้ำ 1,500 มิลลิลิตร : เกลือ 15 กรัม ต้มจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที จะได้เปลือกขาวส้มโอพร้อมใช้งาน
แผนภูมิที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกขาวส้มโอ

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์แยม

นำเปลือกขาวส้มโอที่เตรียมได้แผนภูมิที่ 2 มาศึกษาสมบัติทางเคมี และกายภาพ ดังนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพที่ทำการประเมิน

3.1.1 การประเมินค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่องประเมิน Konica Minolta รุ่น CR-

400 Series

3.1.2 การประเมินเนื้อสัมผัส Texture Profile Analysis (TPA) (Textureanalysis TA.XT plus stable micro system) โดยทำการวัดค่าความแข็ง (Hardness) ใช้หัววัด Blade set with knife

3.1.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (A_w) AQUALAB รุ่น SERIES PE 06069336B

3.2 สมบัติทางเคมีที่ทำการประเมิน

3.2.1 โปรตีน โดยวิธี (AOAC, 2016)

3.2.2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี (AOAC, 2016)

3.2.3 คาร์โบไฮเดรต โดยวิธี (AOAC, 2016)

3.2.4 วิเคราะห์ความชื้น โดยวิธี (AOAC, 2016)

3.2.5 เถ้า โดยวิธี (AOAC, 2016)

3.2.6 ไขมัน โดยวิธี (AOAC, 2016)

4. การศึกษาการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์แยมจากเปลือกขาวส้มโอ

นำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ไปทดลองตลาด (Consumer Test) ด้วยการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถาม เพื่อศึกษาแนวโน้มการตลาดเพื่อการจำหน่ายที่มีต่อผลิตภัณฑ์แยมจากเปลือกขาวส้มโอในกลุ่มเป้าหมายเป็นบุคคลทั่วไป จำนวน 100 คน ซึ่งทำการทดสอบตลาดเทเวศน์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสูตรพื้นฐานของแยม

ตารางที่ 3 คะแนนเฉลี่ย และความแตกต่างคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแยม

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	คะแนนเฉลี่ย และค่าความแตกต่าง			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
ลักษณะปรากฏ	7.20±0.72 ^b	7.23±0.90 ^b	7.53±0.74 ^a	7.45±0.74 ^a
สี	6.93±0.87 ^b	7.23±0.75 ^b	7.60±0.90 ^a	7.38±0.67 ^{ab}
กลิ่น	6.80±0.63 ^b	7.25±0.88 ^{ab}	7.75±0.87 ^a	7.60±0.58 ^a
รสชาติ	6.83±0.92 ^b	7.13±0.68 ^{ab}	7.50±0.83 ^a	7.25±0.45 ^{ab}
เนื้อสัมผัส	6.98±0.67 ^b	7.30±0.95 ^{ab}	7.50±0.88 ^a	7.45±0.93 ^{ab}
ความชอบโดยรวม	7.30±0.46 ^b	7.49±0.75 ^b	7.73±0.84 ^a	7.65±0.47 ^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษา พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูตรที่ 3 มากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีค่าเฉลี่ย 7.53, 7.60, 7.75, 7.50, 7.50 และ 7.73 ตามลำดับ อยู่ในระดับความชอบปานกลาง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 พบว่า ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยมีความแตกต่างกันกับสูตรที่ 1 กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$) จึงเลือกสูตรที่ 3 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเปลือกขาวส้มโอในผลิตภัณฑ์แยมในขั้นต่อไป

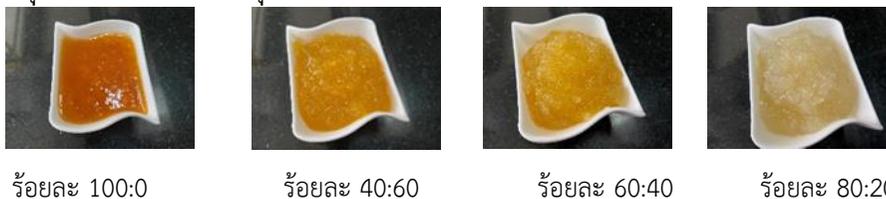
2. ผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมที่ใช้เปลือกส้มโอทดแทนเนื้อส้มในปริมาณที่แตกต่างกัน

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	คะแนนเฉลี่ย และค่าความแตกต่าง			
	สูตรที่ 1 (ร้อยละ100:0)	สูตรที่ 2 (ร้อยละ40:60)	สูตรที่ 3 (ร้อยละ 60:40)	สูตรที่ 4 (ร้อยละ 20:80)
ลักษณะปรากฏ	6.95±0.87 ^{bc}	7.40±0.81 ^a	7.15±0.80 ^b	6.75±0.78 ^c
สี	6.90±0.90 ^{ab}	7.15±0.80 ^a	6.75±0.71 ^b	6.55±0.68 ^b
กลิ่น	6.95±0.87 ^{ab}	7.15±0.86 ^a	6.80±0.76 ^{ab}	6.60±0.74 ^b
รสชาติ	6.80±0.82 ^{ab}	7.20±0.90 ^a	6.80±0.80 ^{ab}	6.50±0.68 ^b
เนื้อสัมผัส	6.85±0.80 ^{ab}	7.20±0.80 ^a	6.80±0.68 ^b	6.60±0.67 ^b
ความชอบโดยรวม	7.15±0.86 ^{ab}	7.50±0.82 ^a	7.10±0.90 ^b	6.75±0.84 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษา พบว่า ผู้ทดสอบชิม ได้คะแนนความชอบมากที่สุดในยอมรับสูตรที่ 2 มากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสโดยมีค่าเฉลี่ย 7.40 7.15 7.15 7.20 7.20 และ 7.50 ตามลำดับ อยู่ในระดับความชอบปานกลาง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ พบว่า สูตรที่ 2 มีความแตกต่างกับสูตรที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$)

3. คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพการผลิตภัณฑ์เปลือกขาวส้มโอแยม



ภาพที่ 1 อัตราส่วนระหว่างเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยมที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ปริมาณเปลือกส้มโอมีผลต่อสีของแยมโดยตรง เมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มมากขึ้น สีของแยมจะยิ่งอ่อนลงตามสัดส่วนของเนื้อส้มที่ลดลง ปริมาณเปลือกขาวส้มโอกาขึ้น ส่งผลให้ลักษณะแยมแตกต่างกันไป ส่งผลให้การปาดบนขนมปังยากขึ้น เพราะลักษณะที่ดีของแยมมีทั้งความวาวขึ้นเหนียวเวลาคนแต่กตัวได้ดี

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม

สมบัติทางเคมี/ กายภาพ	ค่าเฉลี่ยร้อยละ			
	สูตรที่ 1 (ร้อยละ 100:0)	สูตรที่ 2 (ร้อยละ 60:40)	สูตรที่ 3 (ร้อยละ 40:60)	สูตรที่ 4 (ร้อยละ 20:80)
สมบัติทางเคมี				
พลังงาน	200.0	157	146.0	117
ไขมัน	0.2	0.1	0.1	0.1
โปรตีน	0.5	-	-	-
คาร์โบไฮเดรต	49.0	38.9	36.1	28.9
น้ำตาล	40.6	32.2	29.8	21.9
โซเดียม	208.0	120.0	103.0	101.0
ความชื้น	49.67	60.44	63.38	70.62
เถ้า	0.31	0.34	0.40	0.64
สมบัติทางกายภาพ				
L*	29.89±0.24	30.90±0.89	37.38±0.54	44.56±0.44
a*	14.57±1.28	5.50±0.56	2.19±0.59	-2.17±0.14
b*	41.68±1.36	32.99±0.78	26.53±1.33	7.81±0.48

ผลการศึกษา พบว่า สมบัติทางเคมีของปริมาณเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยมสูตรที่ 1 (ร้อยละ 100:0) พบว่า พลังงาน 200 Kcal. ไขมัน ร้อยละ 0.2 โปรตีน ร้อยละ 0.5 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 49 น้ำตาล ร้อยละ 40.6 โซเดียม 208 มก. ความชื้น ร้อยละ 49.67 และเถ้า ร้อยละ 0.31 สมบัติทางกายภาพ พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) 26.89 ค่าสีเขียว (a*) 14.57 และค่าสีเหลือง (b*) 41.68

สูตรที่ 2 (ร้อยละ 60:40) พบว่า พลังงาน 157 Kcal. ไขมัน ร้อยละ 0.1 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 38.9 น้ำตาล ร้อยละ 32.2 โซเดียม 120 มก. ความชื้น ร้อยละ 60.44 และ เถ้า ร้อยละ 0.34 สมบัติทางกายภาพ พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) 30.90 ค่าสีเขียว (a*) 5.50 และค่าสีเหลือง (b*) 32.99

สูตรที่ 3 (ร้อยละ 40:60) พบว่า พลังงาน 146 Kcal. ไขมัน ร้อยละ 0.1 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 36.1 น้ำตาล ร้อยละ 29.8 โซเดียม 103 มก. ความชื้น ร้อยละ 63.38 และ เถ้า ร้อยละ 0.40 สมบัติทางกายภาพ พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) 37.38 ค่าสีเขียว (a*) 2.19 และค่าสีเหลือง (b*) 26.53

สูตรที่ 4 (ร้อยละ 20:80) พบว่า พลังงาน 117 Kcal. ไขมัน ร้อยละ 0.1 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 28.9 น้ำตาล ร้อยละ 21.9 โซเดียม 101 มก. ความชื้น ร้อยละ 70.62 และ เถ้า ร้อยละ 0.64 สมบัติทางกายภาพ พบว่า มีค่าความสว่าง (L^*) 44.56 ค่าสีเขียว (a^*) -2.17 และค่าสีเหลือง (b^*) 7.81

ยิ่งเพิ่มปริมาณเปลือกข้าวสาลี ค่าทางเคมีมีแนวโน้ม ยิ่งเพิ่มปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ พลังงาน คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล และโซเดียมมีค่าลดลง ความชื้น และเถ้า มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าทางกายภาพมีแนวโน้ม ยิ่งเพิ่มปริมาณที่มากขึ้น มีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มมากขึ้น ค่าสีเขียว (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ลดลง

4. การศึกษาการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์แยมจากเปลือกข้าวสาลี

ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคโดยกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน โดยให้ผู้บริโภคทำแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป และชิมเปลือกข้าวสาลีทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม

ตารางที่ 6 ข้อมูลพื้นฐานของผู้บริโภคเปลือกข้าวสาลีทดแทนเนื้อส้มบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยมต่างกัน $n=100$

ข้อมูล		ร้อยละ
1.	เพศ	
1.1	ชาย	23
1.2	หญิง	77
2.	อายุ	
2.1	ต่ำกว่า 19 ปี	-
2.2	19 – 29 ปี	14
2.3	30 – 39 ปี	54
2.4	40 – 49 ปี	32
2.5	50 ปีขึ้นไป	-
3.	การศึกษาสูงสุด	
3.1	ต่ำกว่าปริญญาตรี	48
3.2	ปริญญาตรี	32
3.3	สูงกว่าปริญญาตรี	20
4.	สถานะภาพการสมรส	
4.1	โสด	58
4.2	สมรส	40
4.3	ม่าย / หย่าร้าง	2
5.	อาชีพ	
5.1	รับราชการ / รัฐวิสาหกิจ	30
5.2	ธุรกิจส่วนตัว	30
5.3	นักเรียน/นักศึกษา	30
5.4	ลูกจ้างรายวัน	10
5.5	อื่นๆไปรตระบุ	-

ตารางที่ 6 ข้อมูลพื้นฐานของผู้บริโภคเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยมต่างกัน n=100 (ต่อ)

ข้อมูล	ร้อยละ
6. รายได้	
6.1 ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท	22
6.2 10,001 – 20,000 บาท	50
6.3 20,001 – 30,000 บาท	18
6.4 30,001 – 40,000 บาท	10
6.5 40,001 บาทขึ้นไป	-

ตารางที่ 7 คะแนนความชอบที่มีต่อเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	คะแนนเฉลี่ย	ระดับความชอบ
ลักษณะปรากฏ	7.58±0.87	ชอบปานกลาง
สี	7.36±0.90	ชอบปานกลาง
กลิ่น	7.39±0.78	ชอบปานกลาง
รสชาติ	8.75±0.73	ชอบมาก
ความชอบโดยรวม	8.28±0.86	ชอบมาก

ตารางที่ 8 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม n=100

ข้อมูลสำรวจ	ร้อยละ
1. การยอมรับเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม	
1.1 ยอมรับ	87
1.2 ไม่ยอมรับ	13
2. การตัดสินใจซื้อเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม (ขนาด 250 กรัม)	
2.1 ซื้อ	76
2.2 ไม่แน่ใจ	19
2.3 ไม่ซื้อ	-
3. เหตุผลของการซื้อเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม	
3.1 สะดวกในการรับประทาน	65
3.2 รสชาติกลมกล่อม/ความอร่อย	20
3.3 ผลิตภัณฑ์น่าสนใจ	15

ตารางที่ 8 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเปลือกข้าวสั้มโหดแทนเนื้อสั้มในผลิตภัณฑ์แยม n=100 (ต่อ)

ข้อมูลสำรวจ	ร้อยละ
4. ราคาเปลือกข้าวสั้มโหดแทนเนื้อสั้มในผลิตภัณฑ์แยม (ขนาด250 กรัม) ที่ต้องการซื้อ	
4.1 35 บาท	60
4.2 45 บาท	32
4.3 55 บาท	8
4.4 65 บาท	-

ผลการศึกษากการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อปริมาณเปลือกข้าวสั้มโหดแทนเนื้อสั้มในผลิตภัณฑ์แยม พบว่า ผู้บริโภคตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชายร้อยละ 23 และเพศหญิงร้อยละ 77 การวิจัยครั้งนี้ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิงมากกว่าเพศอายุของผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามมีช่วงอายุ 30-39 ปี ร้อยละ 54 ช่วงอายุ 40-49 ปี ร้อยละ 32 ช่วงอายุ 19-29 ปี ร้อยละ 14 ด้านระดับการศึกษา ผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามมีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรีร้อยละ 48 ผู้ที่มีการศึกษาระดับปริญญาตรีร้อยละ 32 และผู้ที่มีการศึกษาระดับสูงกว่าปริญญาตรีร้อยละ 20ตามลำดับสถานะภาพการสมรส พบว่าผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามมีสถานะภาพโสดร้อยละ 58 ผู้บริโภคที่มีสถานะภาพการสมสร้อยละ 40 และผู้บริโภคที่มีสถานะภาพฝ่าย / หย่าร้างร้อยละ 2 ตามลำดับ อาชีพผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามรับราชการ / รัฐวิสาหกิจร้อยละ 30 ผู้บริโภคที่ทำธุรกิจส่วนตัวร้อยละ 30 ผู้บริโภคที่เป็นนักเรียน/นักศึกษา ร้อยละ 30 และผู้บริโภคที่มีอาชีพลูกจ้างรายวันร้อยละ 10 ในส่วนของรายได้ รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามรายได้อยู่ในช่วง 10,001 – 20,000 บาท ร้อยละ 50 มีรายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วงต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท ร้อยละ 2 และรายได้อยู่ในช่วง 20,001 – 30,000 บาท ร้อยละ 18 และรายได้อยู่ในช่วง 30,001 – 40,000 บาท ร้อยละ 10 ในด้านความชอบที่มีต่อแยมกรอบผู้บริโภคให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม มีค่าเฉลี่ย 7.58, 7.36, 7.39, 8.75 และ 8.28 ตามลำดับอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ด้านการยอมรับเปลือกข้าวสั้มโหดแทนเนื้อสั้มในผลิตภัณฑ์แยม ผู้บริโภคให้การยอมรับเปลือกข้าวสั้มโหดแทนเนื้อสั้มในผลิตภัณฑ์แยม ร้อยละ 82 และไม่ยอมรับร้อยละ 18 การตัดสินใจซื้อเปลือกข้าวสั้มโหดแทนเนื้อสั้มในผลิตภัณฑ์แยม (ขนาด 250 กรัม) ส่วนใหญ่ผู้บริโภคซื้อ คิดเป็นร้อยละ 81 ไม่น่าใจ ร้อยละ 19 เหตุผลของการซื้อแยมเปลือกข้าวสั้มโหด คือ สะดวกในการรับประทานร้อยละ 60 ซื้อเพราะรสชาติกลมกล่อม/ความอร่อย 30 และซื้อเพราะผลิตภัณฑ์น่าสนใจราคาเปลือกข้าวสั้มโหดแทนเนื้อสั้มในผลิตภัณฑ์แยม (ขนาด 250 กรัม) ที่ต้องการซื้อผู้บริโภคซื้อที่ราคา 35 บาทร้อยละ 20 รองลงมาคือราคา 45 บาท ร้อยละ 50 และราคาที่ 55 บาท ร้อยละ 30

อภิปรายผล

1. การศึกษาสูตรพื้นฐานแยม

จากการศึกษาสูตรพื้นฐานของแยม จำนวน 4 สูตร พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูตรที่ 3 มากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีค่าเฉลี่ย 7.53, 7.60, 7.75, 7.50, 7.50 และ 7.73 ตามลำดับ อยู่ในระดับความปานกลาง เมื่อนำมาวิเคราะห์ ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งสูตรที่ผู้ชิมให้การยอมรับมีปริมาณเนื้อสัมผัส และน้ำตาลทรายที่เหมาะสมในการทำแยม โดยที่ไม่ต้องมีความเปรี้ยวจากกรดซิตริกแต่ได้จากเนื้อสัมผัส และน้ำตาลทรายที่ลงตัว แยมสูตรที่ 3 เป็นสูตรพื้นฐานในการศึกษาปริมาณเปลือกขาวส้มโอที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์แยม เนื่องจากเปลือกส้มโอขาวมีปริมาณใยอาหารค่อนข้างสูง และไม่มีรสชาติจึงใช้สูตรแยมเพื่อให้มีรสชาติตามลักษณะที่ดีของแยม

2. การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเปลือกขาวส้มโอในผลิตภัณฑ์แยม

จากการศึกษาสูตรพื้นฐานแยมที่ได้รับการยอมรับมาศึกษาปริมาณเปลือกขาวส้มโอโดยทำการศึกษาปริมาณเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์แยมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ อัตราส่วนระหว่างส้มโอและเปลือกส้มที่ 100:0, 60:40, 60:40 และ 80:20 ของน้ำหนักเนื้อสัมผัสทั้งหมด จากนั้นนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมค่าเฉลี่ยและค่าความแตกต่างคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแยม สูตรที่มีปริมาณเปลือกขาวส้มโอต่างกัน 4 สูตรนั้นมีผลต่อการยอมรับของผู้ทดสอบชิม โดยสูตรที่ 2 ปริมาณเปลือกขาวส้มโอ ที่อัตราส่วน 60:40 ได้คะแนนความชอบมากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีค่าเฉลี่ย 7.40, 7.15, 7.15, 7.20, 7.20 และ 7.50 ตามลำดับ อยู่ในระดับความชอบปานกลาง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติจากตารางที่ 4 พบว่า สูตรที่ 2 ละสูตรที่ 4 แตกต่างในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ส่วนสูตรอื่นแตกต่างกันเพียงบางด้าน เท่านั้น จากการวิจัย พบว่า ยิ่งเพิ่มปริมาณเปลือกขาวส้มโอลงไป แยมมีความแข็งมากขึ้น สีอ่อนลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวันเพ็ญ แสงทองพินิจ (2553) ที่พบว่า เมื่อเติมเปลือกส้มโอลงไป หมวยมีความแข็ง และมีสีซีดลงเล็กน้อย

3. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์แยม

คุณลักษณะด้านสีของแยม ยิ่งทดแทนปริมาณเปลือกส้มโอขาวในแยมมีผลให้สีของแยมมีสีเหลืองพิจารณาจากค่า L^* ที่ลดลงสีจะสว่างขึ้น และค่า a^* และ b^* ที่มีค่าความเข้มของสีแดง และเหลืองลดลงตามลำดับ คุณภาพทางเคมี พบว่า พลังงาน 117 Kcal. ไขมัน ร้อยละ 0.1 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 28.9 น้ำตาล ร้อยละ 21.9 โซเดียม ร้อยละ 101 ความชื้น ร้อยละ 60.44 และ เถ้า ร้อยละ 0.34 โดยแนวโน้ม พบว่า ยิ่งเพิ่มเปลือกส้มโอมากขึ้น ปริมาณเถ้าก็มากขึ้นตามด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของจรรยา โทะนาบุตร (2564ก) ที่พบว่า การเสริมเปลือกส้มโอส่งผลให้มีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.83 และไขมันลดลง ร้อยละ 27.91

4. การศึกษาการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์แยมจากเปลือกขาวส้มโอ

ผลการศึกษารายการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์แยม พบว่า ผู้บริโภคตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชายร้อยละ 23 และเพศหญิงร้อยละ 77 การวิจัยครั้งนี้ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิงมากกว่าเพศชายของผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามมีช่วงอายุ 30-39 ปี ร้อยละ 54 ช่วงอายุ 40-49 ปี ร้อยละ 32 ช่วงอายุ 19-29 ปี ร้อยละ 14 ด้านระดับการศึกษา ผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถาม

มีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรีร้อยละ 48 ผู้ที่มีการศึกษาระดับปริญญาตรีร้อยละ 32 และผู้ที่มีการศึกษาระดับสูงกว่าปริญญาตรีร้อยละ 20 ตามลำดับสถานะภาพการสมรส พบว่า ผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามมีสถานะภาพโสดร้อยละ 58 ผู้บริโภคที่มีสถานะภาพการสมสร้อยละ 40 และผู้บริโภคที่มีสถานะภาพหม้าย / หย่าร้าง ร้อยละ 2 ตามลำดับ อาชีพผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามรับราชการ / รัฐวิสาหกิจร้อยละ 30 ผู้บริโภคที่ทำธุรกิจส่วนตัวร้อยละ 30 ผู้บริโภคที่เป็นนักเรียน/นักศึกษา ร้อยละ 30 และผู้บริโภคที่มีอาชีพลูกจ้างรายวันร้อยละ 10 ในส่วนของรายได้ รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามรายได้อยู่ในช่วง 10,001 – 20,000 บาท ร้อยละ 50 มีรายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วงต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท ร้อยละ 2 และรายได้อยู่ในช่วง 20,001 – 30,000 บาท ร้อยละ 18 และรายได้อยู่ในช่วง 30,001 – 40,000 บาท ร้อยละ 10 ในด้านความชอบที่มีต่อแยมกรอบผู้บริโภคให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความชอบโดยรวม มีค่าเฉลี่ย 7.58 7.36 7.39 8.75 และ 8.28 ตามลำดับอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ด้านการยอมรับเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม ผู้บริโภคให้การยอมรับเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยมร้อยละ 82 และไม่ยอมรับร้อยละ 18 การตัดสินใจซื้อเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม (ขนาด 250 กรัม) ส่วนใหญ่ผู้บริโภคซื้อ คิดเป็นร้อยละ 81 ไม่น่าใจ ร้อยละ 19 เหตุผลของการซื้อแยมเปลือกขาวส้มโอ คือ สะดวกในการรับประทานร้อยละ 60 ซื้อเพราะรสชาติกลมกล่อม/ความอร่อย 30 และซื้อเพราะผลิตภัณฑ์น่าสนใจราคาเปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มในผลิตภัณฑ์แยม (ขนาด 250 กรัม) ที่ต้องการซื้อผู้บริโภคซื้อที่ราคา 35 บาทร้อยละ 20 รองลงมาคือราคา 45 บาท ร้อยละ 50 และราคาที่ 55 บาท ร้อยละ 30 สอดคล้องกับวิศณี วรรณนิม (2552) ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาแยมเสาวรสโดยใช้เพกทินจากเปลือกเสาวรส พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์แยมเสาวรสดพลังงานที่ใช้เปลือกในเสาวรสในด้านความชอบโดยรวม การทำกลิ่น รส และรสหวานสูงกว่าแยมเสาวรสดพลังงานที่ใช้เพกทินเมธีอิกซิลต่ำทางการค้า ($P \leq 0.01$) โดยมีคะแนนความชอบของคุณลักษณะอยู่ในช่วง 6.4 ถึง 7.0 เป็นระดับคะแนนความชอบปานกลาง และสอดคล้องกับ (พกาภาศ ราชมนตรี และคณะ, 2563) ได้ศึกษาเรื่อง การผลิตแยมมะม่วงมหาชนกผสมมันแกว พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่การยอมรับผลิตภัณฑ์แยมส้มแขกแคลอรีต่ำในระดับชอบปานกลาง ชอบมากจนถึงชอบมากที่สุดรวมกันถึงร้อยละ 95 และมีคะแนนความชอบรวมเฉลี่ยเท่ากับ 7.81 ± 1.20

สรุป

การศึกษาสูตรพื้นฐานจำนวน 4 สูตร พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูตรที่ 3 มากที่สุด มีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับความชอบปานกลาง การพัฒนาการใช้เปลือกขาวส้มโอทดแทนเนื้อส้มบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม เมื่อนำเปลือกส้มโอขาวทดแทนลงในแยมส้มที่ปริมาณอัตราส่วน 100:0, 60:40, 40:60, และ 20:80 พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับปริมาณเปลือกขาวส้มโออัตราส่วน 60:40 ได้คะแนนความชอบมากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีค่าเฉลี่ย 7.40, 7.15, 7.15, 7.20, 7.20 และ 7.50 ตามลำดับ อยู่ในระดับความชอบปานกลาง ยิ่งเพิ่มปริมาณเปลือกขาวส้มโอในแยมมีผลให้สีของแยมมีสีเหลือง พิจารณาจากค่า L^* ที่ลดลงสีจะสว่างขึ้น และค่า a^* และ b^* ที่มีค่าความเข้มของสีแดง และเหลืองลดลงตามลำดับ ยิ่งเพิ่มปริมาณเปลือกขาวส้มโอ ค่าทางเคมีมีแนวโน้ม ยิ่งเพิ่มปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ พลังงานคาร์โบไฮเดรต น้ำตาล และโซเดียมมีค่าลดลง ความชื้น และเถ้า มีค่าเพิ่มขึ้น การทดสอบผู้บริโภคที่มีผลต่อ

เปลือกข้าวสาลีทดแทนเนื้อสับบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม พบว่า ในด้านความชอบที่มีต่อเปลือกข้าวสาลีทดแทนเนื้อสับบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม ผู้บริโภคให้การยอมรับโดยรวม มีค่าเฉลี่ย 7.58, 7.36, 7.39, 8.75 และ 8.28 ตามลำดับ อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ด้านการยอมรับเปลือกข้าวสาลีทดแทนเนื้อสับบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม ผู้บริโภคให้การยอมรับเปลือกข้าวสาลีทดแทนเนื้อสับบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยม ร้อยละ 82 และไม่ยอมรับร้อยละ 18

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แยมเปลือกสาลี
2. ควรใช้เปลือกสาลีมาสร้างผลิตภัณฑ์อาหารหรือแปรรูปในเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการปฏิบัติการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

คร้วพิศพิโร. (ม.ป.ป). แยมส้ม. สืบค้นจาก

https://www.youtube.com/watch?v=wfpWRnJD7ko&ab_channel=คร้วพิศพิโร

จรรยา โทะนะบุตร. (2564ก). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมโมสเม้นส์เสริมใยอาหารจากเปลือกสาลี. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**, 16(1), 1-15.

จรรยา โทะนะบุตร. (2564ข). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมกระเจี๊ยบผสมอินทผลัมจากใบเครือหมาน้อย.

วารสารวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม, 22(1), 97-111.

ณวรา เปลียนบุญเลิศ. (2562). **ศาสตร์แห่งแยมหวานและเปรี้ยว**. สืบค้นจาก

https://krua.co/cooking_post/sweetsourfruitjam

เปียร์ เลิฟอูอิทส์. (ม.ป.ป). แยมส้ม. สืบค้นจาก

https://www.youtube.com/watch?v=ZCRjlg8Kill&ab_channel=Love2EatByMizaki

ผกาภาศ ราชมณตรี, อิศราภรณ์ สมบุญวัฒน์กุล, ญาณิศา บรรยง, ศิริรัตน์ ศรีชื่น, และฉัตรรัตน์ แก้วเนตร.

(2563). การผลิตแยมมะม่วงมหาชนกผสมมันแกว. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 8(2), 75-87.

พิมพ์มี เทสต์. (ม.ป.ป). แยมส้ม. สืบค้นจาก

https://www.youtube.com/watch?v=ptQAuyam4-w&ab_channel=PIMMYTASTY

มาตามตวง. (ม.ป.ป). แยมส้ม. สืบค้นจาก

https://www.youtube.com/watch?v=rQ9UjHdYm9w&ab_channel=MadameTuang

- วันเพ็ญ แสงทองพินิจ. (2553). การเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอในผลิตภัณฑ์หมุยอ. การประชุมวิชาการครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 8 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร (หน้า 269-276), 3-6 กุมภาพันธ์ 2553 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิศณี วรรณนิยม. (2552). การพัฒนาแยมเสาวรสโดยใช้เพกทินจากเปลือกเสาวรส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมคิด เทียมรัมย์. (2548). การปลูกส้มโอ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: การพิมพ์อักษรสยาม.
- สามารถ สายอุด, ลลิตา โชติพถุฒิพงศ์, จักรสุมา พงศ์เศรษฐ์กุล, นัฐวงศ์ เพ็องไพบุลย์, อภิรดี จันทร์, และสิริมา สีนุสุธาธา. (2566). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมมันม่วงผสมหอมแดง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 28(2), 1-15.
- เสาวภา ไชยวงศ์, อีรพงษ์ เทพกรณ์, สุจิต ส่วนโพโรจน์, โรมรัน ชูศรี, และอุไรวรรณ ขุนจันทร์. (2553). การประเมินสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่ม Flavonoids และAnthocyanins ของส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์ชาวน้ำผึ้ง พันธุ์ชาวดงควา พันธุ์ชาวยักษ์ และพันธุ์ทับทิมสยามที่ปลูกในไทย. (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.
- Adedeji, T. O. (2017). Development and quality evaluation of Jam from Watermelon (*Citrullus Lanatus*) and Pawpaw (*Carica Papaya*) juice. *Agricultural and Food Sciences*, 1(2), 63-71.
- AOAC. (2016). **Guidelines for Standard Method Performance Requirements**. Retrieved from https://www.aoac.org/wp-content/uploads/2019/08/app_f.pdf
- Cheong, M. W., Liu, S. Q., Zhou, W., Curran, P., & Yu, B. (2012). Chemical composition and sensory profile of pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) juice. *Food Chemistry*, 135(4), 2505-2513.
- Roy, M. C., Alam, M., Saeid, A., Das, B. C., Mia, M. B., Rahman, M. A., Eun, J. B., & Ahmed, M. (2018). Extraction and characterization of pectin from pomelo peel and its impact on nutritional properties of carrot jam during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), 1-9.

โภชนาการ สารพฤกษเคมีเบื้องต้น และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพู

บุษกร อู่วงษ์^{1*} ศิริพร จอมแก้ว² ศรินทิพย์ สังคร³

Received : September 5, 2023

Revised : August 15, 2024

Accepted : September 18, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ สารพฤกษเคมีเบื้องต้น และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูที่เพาะเลี้ยงในจังหวัดเพชรบุรี การวิเคราะห์เชิงโภชนาการ พบว่าเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.6 และ 6.04 น้ำหนักสด และมีไขมัน ร้อยละ 0.08 และ 0.01 น้ำหนักสด ตามลำดับ สารพฤกษเคมีของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดในสารสกัดด้วยน้ำและสารสกัดเมทานอลประกอบด้วยสารแอลคาลอยด์ สเตียรอยด์ แทนนินและคูมาริน ส่วนฟลาโวนอยด์พบเฉพาะในสารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมทั้งสองชนิด การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริก (FRAP) พบว่า สารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมสีทองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด มีค่า IC_{50} ต่ำสุดเท่ากับ 5.50 ± 0.05 mg/ml และความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุดเท่ากับ 40.28 ± 1.47 μ molTE/g ซึ่งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัด ส่วนสารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมสีชมพู มีค่า IC_{50} เท่ากับ 8.02 ± 0.07 mg/ml และความสามารถในการรีดิวซ์เท่ากับ 36.62 ± 1.63 μ molTE/g ตามลำดับ ปริมาณฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเห็ดทั้งสองชนิดในสารสกัดน้ำน้อยกว่าในสารสกัดเมทานอล จากการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่าเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณภาพและมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีมีประโยชน์ต่อสุขภาพ

คำสำคัญ: คุณค่าทางโภชนาการ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารพฤกษเคมี เห็ดนางรมสีชมพู เห็ดนางรมสีทอง

¹ อาจารย์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

อีเมล: busssakorn.oui@mail.pbru.ac.th

² นักศึกษา สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

อีเมล: Siriphon.jom@mail.pbru.ac.th

³ นักศึกษา สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

อีเมล: sirintip.sun@mail.pbru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: busssakorn.oui@mail.pbru.ac.th

NUTRITION, PHYTOCHEMICAL COMPONENTS, AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF GOLDEN AND PINK OYSTER MUSHROOMS

Budsakorn Auiyawong^{1*} Siriphon Jomkaew² Sirintip Sungkorn³

Abstract

This study analyzes the nutritive values, phytochemical components, and antioxidant activity of golden and pink oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) cultivated in Phetchaburi province. Nutritional analysis reveals that golden and pink oyster mushrooms contain protein levels of 5.6% and 6.4% (wb) and fat levels of 0.08% and 0.01% (wb), respectively. These mushrooms were extracted using water and methanol to assess their phytochemical components and antioxidant activity. The water extracts of both mushrooms contain alkaloids, steroids, tannins, and coumarins, while flavonoids were only detected in the methanol extracts. Antioxidant activity measured using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assays showed that the methanol extract of golden oyster mushrooms exhibited the highest antioxidant activity, with the lowest IC₅₀ value of 5.50 ± 0.05 mg/ml and the highest reducing power of 40.28 ± 1.47 μ mol TE/g. This antioxidant activity has positive correlations with total phenolic content. The methanol extract of pink oyster mushrooms showed IC₅₀ values of 8.02 ± 0.07 mg/ml and a reducing power of 36.62 ± 1.63 μ mol TE/g. The total phenolic content and antioxidant activities of the water extracts were found to be lower than those of the methanol extracts. The results of this study indicate that golden and pink oyster mushrooms are rich sources of nutrients and antioxidants, making them beneficial for health.

Keywords: Nutritional values, Antioxidant activity, Phytochemical, Pink oyster mushroom, Golden oyster mushroom,

¹ Lecturer of chemistry division, Faculty of science and technology, Phetchaburi Rajabhat University, e-mail: busssakorn.oui@mail.pbru.ac.th

² Bachelor degree student of chemistry division, Faculty of science and technology, Phetchaburi Rajabhat University, e-mail: Siriphon.jom@mail.pbru.ac.th

³ Bachelor degree student of Chemistry division, Faculty of science and technology, Phetchaburi Rajabhat University, e-mail: sirintip.sun@mail.pbru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: busssakorn.oui@mail.pbru.ac.th

บทนำ

เห็ดเป็นอาหารที่มีความนิยมเพิ่มมากขึ้นในกลุ่มของอาหารสุขภาพ ทั้งนี้เนื่องจากเห็ดมีปริมาณโปรตีนสูง ไขมันต่ำ (Valverde et al., 2015) มีวิตามินและเกลือแร่ที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น วิตามินซี กรดโฟลิก ฟอสฟอรัส สังกะสี เหล็ก เป็นต้น (Caglarirmak, 2007) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี (Antioxidant activity) เนื่องจากประกอบด้วยสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทั้งสารในกลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenol) แครโรทีนอยด์ พอลิแซคคาไรด์ เป็นต้น (Kozarski et al., 2015) รวมถึงเห็ดยังมีฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ เช่น ฤทธิ์ต้านจุลชีพ (antimicrobial activity) ฤทธิ์ในการลดความดันโลหิต (Antihypertension) ฤทธิ์ต้านไวรัส (Antiviral activity) เป็นต้น (Landi et al., 2022) ปัจจุบันพบว่า เห็ดหลายชนิดมีสรรพคุณทางยาที่ชัดเจนและได้รับการพิสูจน์ว่ามีผลต่อสุขภาพ เช่น เห็ดหลินจือ (*Ganoderma sichuanense*) เห็ดชิตาเกะ (*Lentinula edodes*) เห็ดไมตาเกะ (*Grifola frondosa*) เป็นต้น (Valverde et al., 2015)

อนุมูลอิสระ (Free radical) เป็นสาเหตุหนึ่งของการก่อให้เกิดโรคต่างๆ นำไปสู่การศึกษาด้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ที่สามารถยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระได้ ทั้งที่สังเคราะห์ขึ้นและจากธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบริโภค ในการศึกษาสารพฤกษเคมีในพืชสมุนไพรและอาหาร พบว่า สารพฤกษเคมีหลายชนิดมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ทางชีวภาพรวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกที่มีรายงานการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ การสลายเพอร์ออกไซด์ และการกำจัดออกซิเจน ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งของการกำจัดอนุมูลอิสระ (Neha et al., 2015) ทำให้ในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารพฤกษเคมี โดยทั่วไปจึงมีการวิเคราะห์ฟีนอลิกรวมของสารสกัดเหล่านั้นด้วย

เห็ดในกลุ่มเห็ดนางรม (*Pleurotus* spp.) มีหลายสายพันธุ์ เป็นเห็ดที่เกษตรกรนิยมเพาะเลี้ยง เนื่องจากเพาะเลี้ยงง่าย สามารถเพาะเลี้ยงได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย และสามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารได้หลากหลายผลิตภัณฑ์ เห็ดที่นิยมบริโภค เช่น เห็ดนางฟ้า (*P. sajor-caju*) เห็ดนางฟ้าภูฐาน (*P. eous*) เห็ดนางรมหลวง (*P. eryngii*) มีการศึกษาข้อมูลพื้นฐานทั้งในด้านโภชนาการ สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Adebayo & Oloke, 2017) และฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ (Patel et al., 2012) เพื่อประกอบเป็นข้อมูลพื้นฐานของการบริโภค

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาเห็ดนางรมสีทอง (*P. citrinopileatus*) และเห็ดนางรมสีชมพู (*P. djamor*) ซึ่งมีการเพาะเลี้ยงโดยกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดเพชรบุรี เห็ดทั้งสองชนิดเป็นเห็ดในกลุ่มเห็ดนางรมที่ยังไม่ได้รับความนิยมในการบริโภค ได้มีการศึกษาสารสกัดโปรตีนที่ได้จากเห็ดนางรมสีทองมีฤทธิ์ยับยั้งการขยายตัวของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว U937 (Chen et al., 2009) และสารไกลโคโปรตีนจากเห็ดนางรมสีทองมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Chen et al., 2011) ในขณะที่เห็ดนางรมสีชมพูมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและเป็นสารช่วยลดน้ำตาล (Nayak et al., 2021) อย่างไรก็ตามสารสำคัญทางเคมีต่าง ๆ ในเห็ดรวมถึงฤทธิ์ทางชีวภาพ

ของเห็ด จะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ อาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง วิธีการเพาะปลูก เป็นต้น (Erbiati et al., 2021) ดังนั้น เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับเกษตรกรในการจำหน่าย รวมถึงการพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์ทางอาหารรูปแบบอื่น ๆ จึงได้ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ สารพิษตกค้างเบื้องต้น ปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดในสารสกัดน้ำและสารสกัดเมทานอล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ คือ ความชื้น เถ้า โปรตีนรวม ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต รวมถึงศึกษาสารพิษตกค้างเบื้องต้น ปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูที่เพาะเลี้ยงในจังหวัดเพชรบุรี

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างเห็ดนางรมทั้งสองชนิดและการเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพู จากหมู่บ้านหนองน้ำดำ ตำบลห้วยแม่เพรียง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2565 โดยนำตัวอย่างเห็ดทั้งสองชนิดมาทำความสะอาด หั่นส่วนของดอกเห็ด (fruit body) เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 30 ชั่วโมง นำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น เก็บในถุงสุญญากาศและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนนำไปทำการสกัด

2. การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร

นำเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูแบบสดมาปั่นให้มีขนาดเล็กๆ นำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ โดยวิเคราะห์ความชื้น เถ้า โปรตีนรวม และไขมัน ตามวิธีมาตรฐานของ Official Analytical Chemistry (AOAC, 2019) และวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ โดยรายงานในรูปของกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสดส่วนของพลังงานของเห็ดทั้งสองชนิดคำนวณโดยใช้สูตร (Toledo et al., 2016)

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (\%)} = 100 - (\text{ความชื้น(g)} + \text{เถ้า(g)} + \text{ไขมัน(g)} + \text{โปรตีน(g)})$$

$$\text{ค่าพลังงาน (Kcal)} = 4 \times (\text{กรัมของโปรตีน} + \text{กรัมของคาร์โบไฮเดรต}) + 9 \times \text{กรัมของไขมัน}$$

3. การสกัดตัวอย่างเห็ดสำหรับทดสอบสารพิษตกค้างและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.1 การสกัดตัวอย่างเห็ดด้วยน้ำ

การสกัดเห็ดนางรมทั้งสองชนิดด้วยน้ำดัดแปลงวิธีจาก (Boonsong et al., 2016) โดยนำตัวอย่างเห็ดอบแห้งที่บดละเอียดแล้วประมาณ 10 กรัม เติมน้ำ 150 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดประมาณ 30 นาที กรองผ่านผ้าขาวบาง และกรองอีกครั้งด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และปรับปริมาตรเป็น 100

มิลลิลิตร ได้สารสกัดน้ำของตัวอย่างเห็ด เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์สารฟุกุซเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่อไป สารสกัดน้ำที่ได้คืดต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง และรายงานในหน่วยกรัมของน้ำหนักแห้ง

3.2 การสกัดตัวอย่างเห็ดด้วยเมทานอล (Boonsong et al., 2016)

ตัวอย่างเห็ดนางรมทั้งสองชนิดที่บดละเอียดแล้วประมาณ 10 กรัม นำมาแช่ในเมทานอล 100 มิลลิลิตร ทำการสกัด 3 ครั้ง รวมสารสกัดกรองผ่านกระดาษกรองและระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 337 mbar ได้สารสกัดเห็ดในเมทานอลเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนนำไปวิเคราะห์ และรายงานในหน่วยกรัมของสารสกัดแห้ง

4. การวิเคราะห์สารฟุกุซเคมี

การศึกษานี้ทดสอบสารฟุกุซเคมีเบื้องต้นทั้งในสารสกัดน้ำและสารสกัดเมทานอล ทั้งหมด 6 กลุ่มคือ แอลคาลอยด์ สเตียรอยด์ ฟลาโวนอยด์ แทนิน ซาโปนินและคูมาริน ตามวิธีการของ (บุษราคัม สิงห์ชัย และคณะ, 2560)

4.1 การทดสอบแอลคาลอยด์ ทำโดยนำสารสกัดมาเล็กน้อย เติม 0.5 M HCl ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 3 นาที หยดสารละลาย Dragendorff's 2-3 หยดและสังเกตตะกอนสีส้มแดงที่เกิดขึ้น

4.2 การทดสอบสเตียรอยด์ (Liebermann-Burchard test) ทำโดยนำสารสกัดมาเล็กน้อย หยดกรดแอสติกเข้มข้น 3 หยด เขย่าให้เข้ากันแล้วค่อยๆหยดกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ลงไปข้างๆหลอด 3 หยด สังเกตสารละลายสีเขียวเข้มและใช้คอเลสเทอรอลเป็นตัวเปรียบเทียบ

4.3 การทดสอบฟลาโวนอยด์ (Cyanidin test) ใส่ลวดแมกนีเซียม 1 แผ่น ลงในสารสกัดปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำไปต้ม 3 นาที เมื่อสารละลายอุ่นแล้ว เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 0.5 ml สารละลายจะมีสีที่เข้มขึ้นเมื่อเทียบกับสารตั้งต้นและใช้ quercetin เป็นตัวเปรียบเทียบ

4.4 การทดสอบแทนนิน (Ferric chloride test) ทำโดยนำสารสกัดมาเล็กน้อยเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรแล้วนำไปต้ม 5 นาที หยดเฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) 3-4 หยด จะได้สารละลายสีดำ

4.5 การทดสอบซาโปนิน (Foam test) นำสารสกัดมาเล็กน้อยเติมน้ำกลั่น 5 ml แล้วต้ม 5 นาที ปลอ่ยให้เย็น และเขย่าแรงๆ 1 นาที สังเกตฟองที่เกิดขึ้น

4.6 การทดสอบคูมาริน นำกระดาษกรองมาชุบด้วยสารละลาย 2 M NaOH ทำให้กระดาษกรองแห้ง จากนั้นหยดสารสกัดลงบนกระดาษกรอง ทำให้แห้งอีกครั้ง นำกระดาษกรองวางใต้แสงอุตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 365 nm คูมารินจะเกิดการเรืองแสง

5. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม (Total phenolic)

วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assay (Singleton et al., 1999) โดยนำสารสกัด 0.3 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย Folin-Ciocalteu 1.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมน้ำละลายโซเดียมคาร์บอเนต (NaCO₃) ความเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 1.3 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด 30 นาที ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer (Shimadzu, UVmini1240) คำนวณปริมาณฟีนอลิกรวมเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (R²=0.9993) และรายงานในหน่วย mg gallic acid equivalent (GAE)

6. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

6.1 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในสารสกัดน้ำและสารสกัดเมทานอล

โดยนำสารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย 0.2 M 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 3.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและเก็บไว้ในที่มืด 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร รายงานค่าร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ (Radical scavenging) และรายงานค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC₅₀) โดยใช้ทรอลอกซ์ (Trolox) เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบ

$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = [(A_0 - A_s)/A_0] \times 100$$

โดย A₀ = ค่าการดูดกลืนแสงหลอดควบคุม และ A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

6.2 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP)

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP โดยดัดแปลงวิธีจาก (Keles et al., 2011) โดยเตรียมรีเอเจนต์ ferric-TPTZ ได้จากการนำแอซิติเตดบัฟเฟอร์ pH 3.6 ความเข้มข้น 300 mM ผสมกับสารละลาย 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) ความเข้มข้น 10 mM และสารละลายเฟอริกคลอไรด์ (FeCl₃) ความเข้มข้น 20 mM ในอัตราส่วน 10:1:1

ในการวิเคราะห์ใช้รีเอเจนต์ ferric-TPTZ 2850 µl เติมน้ำสกัดตัวอย่าง 150 µl ผสมให้เข้ากันและเก็บไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm ใช้ทรอลอกซ์ (Trolox) เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบและรายงานฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในรูปของ µmol Trolox equivalent/g

7. สถิติในการวิจัย

ศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยทำการทดสอบ 3 ซ้ำ รายงานค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณสารฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธี ของเห็ดทั้งสองชนิดในตัวทำละลายชนิดเดียวกันด้วย independent t-test ต่างชนิดกันโดยใช้ one-way Anova และบอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ p < 0.05

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

กลุ่มของเห็ดนางรม (*Pleurotus* spp.) เป็นเห็ดที่นิยมบริโภคของคนทั่วโลกโดยมีบทบาท 2 ส่วนคือ เป็นทั้งส่วนที่เป็นอาหารและส่วนที่มีฤทธิ์เป็นยา ในการศึกษาวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาเห็ดนางรมสองชนิด คือ เห็ดนางรมสีทอง (*P.citrinopileatus*) และเห็ดนางรมสีชมพู (*P. djamor*) ที่มีการเพาะเลี้ยงเพื่อจำหน่ายในจังหวัดเพชรบุรี ดังแสดงในภาพที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของเห็ดนางรมโดยทั่วไปมีความแตกต่างกันตามวัสดุเพาะ แหล่งที่เพาะปลูก แต่อย่างไรก็ตามเห็ดนางรมเป็นแหล่งสารอาหารที่ดีเนื่องจากมีโปรตีนสูง วิตามินและเกลือแร่หลายชนิด และไขมันต่ำ (Agarwal et al., 2018) ในการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดนางรมทั้งสองชนิด พบว่าเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 5.6 และ 6.04 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเห็ดชนิดอื่นที่รายงานในหน่วยของน้ำหนักสด เช่น เห็ดหอม (*L.edodes*) มีปริมาณโปรตีนในช่วง 2.07-2.94% เห็ดนางรม (*P. ostreatus*) 0.92% และเห็ดนางฟ้า (*P.sajor-caju*) มีโปรตีน 1.76% (Caglarirmak, 2007) และมีการรายงานว่าโปรตีนของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพู นั้นมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน (Musieba et al., 2013) (Raman et al., 2020)



ภาพที่ 1 เห็ดนางรมทั้ง 2 ชนิดที่เพาะเลี้ยงในจังหวัดเพชรบุรี (1) เห็ดนางรมสีทอง (2) เห็ดนางรมสีชมพู

เห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูมีเถ้าเท่ากับ 1.7 และ 1.6 กรัมต่อ100กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยทั่วไปปริมาณเถ้าบ่งบอกถึงเกลือแร่ที่นำไปใช้ได้ ในการศึกษาเห็ดนางรมทั่วไป พบว่า เห็ดนางรมเป็นแหล่งเกลือแร่ที่ดีโดยเฉพาะ สังกะสี ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม มีปริมาณโพแทสเซียมสูงและโซเดียมต่ำ ซึ่งดีต่อระบบความดันโลหิต (Caglarirmak, 2007) มีการรายงานว่าในทั้งในเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพู พบว่า โพแทสเซียมเป็นเกลือแร่หลัก นอกจากนี้ยังมี สังกะสี ทองแดง เหล็ก และเกลือแร่อื่น ๆ หลายชนิด (Raman et al., 2020) (Musieba et al., 2013) ส่วนไขมันที่พบในเห็ดนางรมสีทองและสีชมพูมีปริมาณต่ำเท่ากับ 0.08 และ 0.01 กรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด โดยมีรายงานว่ากรดไขมันที่พบในเห็ดนางรมส่วนใหญ่เป็น

กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) เช่น กรดไลโนเลอิก เป็นต้น (Valverde et al., 2015) เหตุทั้งสองชนิดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 10.48 และ 8.95 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ คุณค่าทางโภชนาการทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพู ในหน่วยกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

	เห็ดนางรมสีทอง(%)	เห็ดนางรมสีชมพู (%)
พลังงาน (Kcal)	65.04	60.05
ความชื้น	82.14	83.40
เถ้า	1.7	1.60
โปรตีน	5.6	6.04
ไขมัน	0.08	0.01
คาร์โบไฮเดรต	10.48	8.95

นอกจากสารอาหารหลักที่มีโปรตีนสูงของเห็ดแล้ว เห็ดยังสร้างสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (Secondary metabolite) หลากหลายชนิดที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (Obodai et al., 2014) จากการศึกษาสารพิษจากเห็ดเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าทั้งสารสกัดน้ำและสารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดพบสาร แอลคาลอยด์ สเตอริยรอยด์ แทนนิน และคูมาริน แต่ไม่พบสารซาโปนิน ในขณะที่สารสกัดเมทานอลของเห็ดทั้งสองชนิดพบสารฟลาโวนอยด์ แต่ไม่พบในส่วนของสารสกัดน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องจากวิธีการสกัดด้วยน้ำใช้เวลาน้อยทำให้ไม่สามารถสกัดฟลาโวนอยด์ออกมาได้ แต่อย่างไรก็ตามการพบสารพิษเหล่านี้เหมือนกับในเห็ดชนิดอื่น ๆ (Toledo et al., 2016) แสดงถึงความสมบูรณ์ของสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ

ตารางที่ 2 สารพิษจากเห็ดในสารสกัดน้ำและสารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพู

สารพิษจากเห็ด	สารสกัดน้ำ		สารสกัดเมทานอล	
	เห็ดนางรมสีทอง	เห็ดนางรมสีชมพู	เห็ดนางรมสีทอง	เห็ดนางรมสีชมพู
แอลคาลอยด์	+	+	+	+
สเตอริยรอยด์	+	+	+	+
ฟลาโวนอยด์	-	-	+	+
แทนนิน	+	+	+	+
คูมาริน	+	+	+	+
ซาโปนิน	-	-	-	-

สารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิกลุ่มหนึ่งที่สัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และเป็นสารพิษเคมีหลักที่พบในเห็ดหลายชนิด (Toledo et al., 2016) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัดน้ำและสารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมสีทองมีปริมาณมากกว่าเห็ดนางรมสีชมพูและต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารสกัดน้ำและสารสกัดเมทานอลจะพบว่า ปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัดเมทานอลจะมากกว่าในสารสกัดน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณฟีนอลิกรวมสารสกัดน้ำของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูเท่ากับ 9.15 และ 5.33 mgGAE/g ขณะที่ในสารสกัดเมทานอลเท่ากับ 21.74 และ 20.53 mgGAE/g ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3 การพบปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัดเมทานอลมากกว่าในสารสกัดน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกละลายในเมทานอลได้ดีกว่าในน้ำ (Galanakis et al., 2013) รวมถึงเวลาที่ใช้ในการสกัดด้วยน้ำที่น้อยกว่า ทำให้ปริมาณฟีนอลิกรวมในน้ำน้อยกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณฟีนอลิกรวมในเห็ดนางรมสีทองที่ได้ในการศึกษาครั้งนี้ มีปริมาณสูงกว่าที่รายงานโดย Lee และคณะ ที่พบปริมาณฟีนอลิกรวมในช่วง 8.62 – 12.38 mg/g และพบว่า ฟีนอลิกรวมในสารสกัดแอลกอฮอล์จะมีปริมาณมากกว่าสารสกัดน้ำเช่นเดียวกัน (Lee et al., 2007) ในส่วนของเห็ดนางรมชนิดอื่น ๆ ในแอลกอฮอล์ เช่น เห็ดนางรมภูฐาน (*P. eous*) เห็ดนางฟ้า (*P. sajor-caju*) เห็ดนางรมฮังการี (*P. ostreatus*) และเห็ดเป่าเชื้อ (*P. cystidiosus*) ที่มีการรายงานและเพาะเลี้ยงในประเทศไทยพบว่า มีปริมาณฟีนอลิกรวมตั้งแต่ 1.33 – 36.61 mgGAE/g (Pasakawee et al., 2018) ใกล้เคียงกับปริมาณฟีนอลิกรวมที่สกัดได้จากเห็ดนางรมทั้งสองชนิดในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 3 ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดน้ำและสารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมสีทองและสีชมพู

เห็ด	ปริมาณฟีนอลิกรวม	
	สารสกัดน้ำ (mgGAE/g)	สารสกัดเมทานอล (mgGAE/g)
เห็ดนางรมสีทอง	9.18 ± 0.06 ^c	21.74 ± 0.44 ^a
เห็ดนางรมสีชมพู	5.33 ± 0.15 ^d	20.53 ± 0.71 ^b

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเห็ดทั้งสองชนิดในการศึกษาครั้งนี้ทำการวิเคราะห์ 2 วิธีด้วยกันคือ วิธี DPPH และ FRAP ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการถ่ายเทอิเล็กตรอน (Electron transfer) โดยมีสารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน โดยวิธี DPPH เป็นการถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กับอนุมูลอิสระโดยตรง ทำให้อนุมูลอิสระกลายเป็นกลางเป็นการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ แต่วิธี FRAP จะวัดความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกไอออนไปเป็นเฟอร์รัสไอออน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีร่วมกันทำให้ได้ข้อมูลกลไกในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด (Shahidi & Zhong., 2015)

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ใช้ทรอลลอกซ์เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า สารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าในสารสกัดน้ำ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 5.50 ± 0.05 mg/ml และ 8.02 ± 0.07 mg/ml ตามลำดับ และมีค่าร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ (% radical scavenging) เท่ากับ 88.01% และ 80.7% ตามลำดับที่ความเข้มข้นสารสกัด 15 mg/ml ในขณะที่สารสกัดน้ำของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูโดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 18.16 ± 1.07 mg/ml และ 25.86 ± 0.07 mg/ml ตามลำดับ และมีค่าร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ เท่ากับ 53.2 ที่ความเข้มข้น 20 mg/ml และร้อยละ 67.0 ที่ความเข้มข้น 40 mg/ml ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่า IC_{50} ของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดในสารสกัดเมทานอลยังมีค่าสูงกว่าทรอลลอกซ์ ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.061 ± 0.0002 mg/ml ค่า IC_{50} ของเห็ดนางรมสีทองที่สกัดด้วยเมทานอลในการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Meng et al. (2011) ที่ทำการศึกษาศักยภาพของเห็ดนางรมสีทองในสารสกัดเมทานอลและสกัดด้วยน้ำร้อน ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าค่า IC_{50} ของสารสกัดเมทานอลเท่ากับ 5.4 mg/ml ในขณะที่สารสกัดในน้ำร้อน มีค่า IC_{50} เท่ากับ 4.2 mg/ml ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเห็ดนางรมสีชมพูมีการรายงานโดย Raman et al. (2020) พบว่าค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 3.09-5.14 mg/ml และสารสกัดเมทานอลมีฤทธิ์ดีกว่าสารสกัดน้ำเช่นกัน

ตารางที่ 4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำและเมทานอลของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพู

เห็ด	วิธี DPPH		วิธี FRAP	
	IC_{50} (mg/ml)		$\mu\text{molTE/g}$	
	สารสกัดน้ำ	สารสกัดเมทานอล	สารสกัดน้ำ	สารสกัดเมทานอล
เห็ดนางรมสีทอง	18.16 ± 1.07^b	5.50 ± 0.05^d	19.92 ± 0.36^c	40.28 ± 1.47^a
เห็ดนางรมสีชมพู	25.86 ± 0.07^a	8.02 ± 0.07^c	11.05 ± 0.13^d	36.62 ± 1.63^b

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP method) เป็นการวัดความจุของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ในการรีดิวซ์สารเชิงซ้อนของ Fe^{3+} -TPTZ ไปเป็น Fe^{2+} -TPTZ ดังนั้นการรีดิวซ์ได้มากแสดงถึงความสามารถและบ่งชี้ถึงศักยภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4 พบว่า สารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดมีความสามารถในการรีดิวซ์ดีกว่าในสารสกัดน้ำ ค่าการรีดิวซ์ของเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูเท่ากับ 40.28 ± 1.47 $\mu\text{molTE/g}$ และ 36.62 ± 1.63 $\mu\text{molTE/g}$ ตามลำดับ ส่วนสารสกัดน้ำเท่ากับ 19.92 ± 0.36 $\mu\text{molTE/g}$ และ 11.05 ± 0.13 $\mu\text{molTE/g}$ มีการรายงานฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเห็ดป่าและเห็ดที่เพาะเลี้ยงทางเหนือของประเทศไทยด้วยวิธี FRAP ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ของเห็ดหูหนู (*A. auricula*) เท่ากับ 8.6 $\mu\text{molTE/g}$

เห็ดฟาง (*V. volvacea*) เท่ากับ 25.0 $\mu\text{molTE/g}$ และ เห็ดนางฟ้า (*P.sajou-caju*) เท่ากับ 18.6 $\mu\text{molTE/g}$ และเห็ดป่าที่กินได้ชนิดอื่นๆอยู่ในช่วง 3.9-76.1 $\mu\text{molTE/g}$ (Srikram & Supapvanich, 2016)

ในการศึกษานี้ผลของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกรวม ประกอบกับการพบสารฟลาโวนอยด์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลิก (Kozarski et al., 2015) ในสารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมทั้งสองชนิด จะเห็นจากผลการศึกษาได้ว่า สารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมสีทองมีปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีที่ดีที่สุดด้วยเช่นกัน และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการถ่ายเทอิเล็กตรอน (Electron transfer) ของสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้โดยผ่านกลไกการถ่ายเทอิเล็กตรอน

สรุป

จากการศึกษาเห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูที่เพาะเลี้ยงเพื่อจำหน่ายในจังหวัดเพชรบุรี ในเชิงโภชนาการเห็ดนางรมทั้งสองชนิดจัดเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณภาพ มีปริมาณโปรตีนสูง และไขมันต่ำ สารพฤกษเคมีเบื้องต้นของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดพบว่า มีแอลคาลอยด์ สเตอริยรอยด์ แทนนิน คูมาริน และฟลาโวนอยด์ เป็นองค์ประกอบ จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP แสดงให้เห็นว่าสารสกัดของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีผ่านกลไกการถ่ายเทอิเล็กตรอน

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาที่พบว่า เห็ดนางรมสีทองและเห็ดนางรมสีชมพูมีปริมาณโปรตีนสูงและไขมันต่ำ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จัดเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการนำเห็ดทั้งสองชนิดไปประยุกต์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้สารสกัดเมทานอลของเห็ดนางรมทั้งสองชนิดพบสารพฤกษเคมีหลายชนิดที่ส่วนหนึ่งมีฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้นการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เช่น ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย เป็นหัวข้อที่ควรทำการศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

เอกสารอ้างอิง

- บุษราคัม สิงห์ชัย, จันทร์จิรา ขอจุลช้วน, และปาริฉัตร ต้วงทอง. (2560). พฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของชาเลื่บรอก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(5), 831-838.
- AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International*. 21st Edition, AOAC, Washington DC
- Adebayo, E. A., & Oloke, J. K. (2017). Oyster mushroom (*Pleurotus* species); A natural functional food. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(3), 254–264.
- Agarwal, S., Kushwaha, A., Verma, V., & Singh, M. P. (2017). Nutritional attributes of *Pleurotus* mushroom. In: Singh MP, Verma V (Eds.). *Incredible world of Biotechnology*, Nova Science Publishers, 13-24.
- Boonsong, S., Klaypradit, W., & Wilaipun, P. (2016). Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants. *Agriculture and Natural Resources*, 50(2), 89–97.
- Caglarirmak, N. (2007). The nutrients of exotic mushrooms (*Lentinula edodes* and *Pleurotus* species) and an estimated approach to the volatile compounds. *Food Chemistry*, 105(3), 1188–1194.
- Chen, J.-N., de Mejia, E. G., & Wu, J. S.-B. (2011). Inhibitory Effect of a Glycoprotein Isolated from Golden Oyster Mushroom (*Pleurotus citrinopileatus*) on the Lipopolysaccharide-Induced Inflammatory Reaction in RAW 264.7 Macrophage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), 7092–7097.
- Chen, J.-N., Wang, Y.-T., & Wu, J. S.-B. (2009). A Glycoprotein Extracted from Golden Oyster Mushroom *Pleurotus citrinopileatus* Exhibiting Growth Inhibitory Effect against U937 Leukemia Cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(15), 6706–6711.
- Erbai, E. H., Da Silva, L. P., Saidi, R., Lamrani, Z., Esteves Da Silva, J. C. G., & Maouni, A. (2021). Chemical Composition, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Two Wild Edible Mushrooms *Armillaria mellea* and *Macrolepiota procera* from Two Countries (Morocco and Portugal). *Biomolecules*, 11(4), 575.

- Galanakis, C. M., Goulas, V., Tsakona, S., Manganaris, G. A., & Gekas, V. (2013). A knowledge base for the recovery of natural phenols with different solvents. **International Journal of Food Properties**, 16(2), 382–396.
- Keles, A., Koca, I., & Gençcelep, H. (2011). Antioxidant Properties of Wild Edible Mushrooms. **Journal of Food Processing & Technology**, 2(6), 2-6.
- Kozarski, M., Klaus, A., Jakovljevic, D., Todorovic, N., Vunduk, J., Petrović, P., Niksic, M., Vrvic, M., & Van Griensven, L. (2015). Antioxidants of Edible Mushrooms. **Molecules**, 20(10), 19489–19525.
- Landi, N., Clemente, A., Pedone, P. V., Ragucci, S., & Di Maro, A. (2022). An Updated Review of Bioactive Peptides from Mushrooms in a Well-Defined Molecular Weight Range. **Toxins**, 14(2), 84.
- Lee, Y.-L., Huang, G.-W., Liang, Z.-C., & Mau, J.-L. (2007). Antioxidant properties of three extracts from *Pleurotus citrinopileatus*. **LWT - Food Science and Technology**, 40(5), 823–833.
- Meng, T.-X., Furuta, S., Fukamizu, S., Yamamoto, R., Ishikawa, H., Arung, E. T., Shimizu, K., Ohga, S., & Kondo, R. (2011). Evaluation of biological activities of extracts from the fruiting body of *Pleurotus citrinopileatus* for skin cosmetics. **Journal of Wood Science**, 57(5), 452–458.
- Musieba, F., Okoth, S., K. Mibey, R., Wanjiku, S., & Moraa, K. (2013). Proximate Composition, Amino Acids and Vitamins Profile of *Pleurotus citrinopileatus* Singer: An Indigenous Mushroom in Kenya. **American Journal of Food Technology**, 8(3), 200–206.
- Nayak, H., Kushwaha, A., Behera, P. C., Shahi, N. C., Kushwaha, K. P. S., Kumar, A., & Mishra, K. K. (2021). The Pink Oyster Mushroom, *Pleurotus djamor* (Agaricomycetes): A Potent Antioxidant and Hypoglycemic Agent. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, 23(12), 29–36.
- Neha, B., Harinder, S. O., & Simranjeet, K. S. (2015). Therapeutic and Nutraceutical Potential of Bioactive Compounds Extracted from Fruit Residues. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 55(3), 319-337.

- Obodai, M., Owusu, E., Schiwenger, G. O., Asante, I. K., & Dzomeku, M. (2014). Phytochemical and Mineral Analysis of 12 Cultivated Oyster Mushrooms (Pleurotus Species). **Advances in Life Science and Technology**, 26, 35-42.
- Pasakawee, K., Banjongsiniri, P., Donrung, N., & Satiankomsorakrai, J. (2018). Nutritional and antioxidant properties of selected-commercial mushroom in Thailand. **Journal of Food Science and Agricultural Technology**, 4(spcl.Iss), 36-40.
- Patel, Y., Naraian, R., & Singh, V. K. (2012). Medicinal Properties of Pleurotus Species (Oyster Mushroom): A Review. **World J. Fungal & Plant Biol**, 3(1), 1-12.
- Raman, J., Lakshmanan, H., Jang, K.-Y., Oh, M., Oh, Y.-L., & Im, J.-H. (2020). Nutritional composition and antioxidant activity of pink oyster mushrooms (Pleurotus djamor var. Roseus) grown on a paddy straw substrate. **Journal of Mushroom**, 18(3), 189–200.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, 299,152-178.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, 18, 757–781.
- Srikram, A., & Supapvanich, S. (2016). Proximate compositions and bioactive compounds of edible wild and cultivated mushrooms from Northeast Thailand. **Agriculture and Natural Resources**, 50(6), 432–436.
- Toledo, C., Barroetaveña, C., Fernandes, Â., Barros, L., & Ferreira, I. (2016). Chemical and Antioxidant Properties of Wild Edible Mushrooms from Native Nothofagus spp. Forest, Argentina. **Molecules**, 21(9), 1201-1215.
- Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., & Paredes-López, O. (2015). Edible Mushrooms: Improving Human Health and Promoting Quality Life. **International Journal of Microbiology**, 2015, 1–14.

การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมดีเอ็นเอเพื่อตรวจหายีน *hemolysin* ของแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* ที่ก่อโรคในปลานิล

บุณชริกา ทองดอนพุ่ม^{1*} กิตติมา วานิชกุล² อุดลย์ บุญเฉลิมชัย³ สมพล แพรพันธ์⁴

Received : February 13, 2024

Revised : August 28, 2024

Accepted : September 20, 2024

บทคัดย่อ

โรคติดเชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* ที่พบในปลานิล ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตสัตว์น้ำ เนื่องจากการตรวจวินิจฉัยโรคใช้เวลานาน ทำให้ไม่สามารถควบคุมโรคได้ทัน การศึกษาวิธีการเปรียบเทียบการสกัดดีเอ็นเอของเชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* ที่ก่อโรคในปลานิล โดยใช้ชุดสกัดสำเร็จและวิธีการต้มด้วยความร้อน มาใช้ในการตรวจหายีน *hemolysin (hlyA)* ของเชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* เพื่อให้มีความสะดวกและรวดเร็วขึ้น ผลการตรวจหายีน *hlyA* ของเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* โดยใช้เทคนิคพีซีอาร์ พบว่า คุณภาพดีเอ็นเอของเชื้อที่ได้จากการสกัดจากการใช้ชุดสกัดสำเร็จและวิธีต้มด้วยความร้อน สามารถตรวจหายีน *hlyA* ได้ผลผลิตพีซีอาร์ขนาด 592 คู่เบส และไม่พบ ผลผลิตพีซีอาร์จากดีเอ็นเอในเชื้ออื่น ๆ โดยความเข้มข้นของเชื้อน้อยที่สุด (10^6 CFU/mL) ที่นำไปสกัดดีเอ็นเอและสามารถตรวจหายีน *hlyA* โดยวิธีพีซีอาร์ พบว่า มีความเข้มข้นเท่ากับ 18.8 ng/ μ L และมีความบริสุทธิ์ 1.84 จากการสกัดโดยชุดสกัดสำเร็จและความเข้มข้นเท่ากับ 17.7 ng/ μ L และมีความบริสุทธิ์ 1.66 จากการสกัดโดยการต้มด้วยน้ำร้อน ดังนั้น ดีเอ็นเอที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 วิธี และการใช้ยีน *hlyA* เป็นยีนเป้าหมาย จึงมีประสิทธิภาพต่อการนำมาใช้ในการตรวจหาเชื้อ *A. hydrophila* ได้ ทั้งนี้ สามารถนำผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้ไปหาลำดับเบส และยืนยันชนิดของยีนสำหรับใช้เป็นแม่แบบในการออกแบบไพรเมอร์ เพื่อรองรับเทคนิควิเคราะห์อย่างง่ายในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: การสกัดดีเอ็นเอ แบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* ปลานิล พีซีอาร์ ยีน *hlyA*

¹ อาจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อีเมล: Boontarika@rmutt.ac.th

² อาจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อีเมล: Kittima_v@rmutt.ac.th

³ อาจารย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต อีเมล: Adun_b@rsu.ac.th

⁴ อาจารย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต อีเมล: Somphon.p@rsu.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: Boontarika@rmutt.ac.th

COMPARISON OF EXTRACTION METHODS FOR DETECTING THE HEMOLYSIN GENE IN PATHOGENIC *Aeromonas hydrophila* FROM TILAPIA

Boontarika Thongdonphum^{1*} Kittima Vanichkul² Adun Bunchaleamchai³
Somphon Phraephan⁴

Abstract

Aeromonas hydrophila, a bacterial pathogen found in tilapia, negatively affects aquatic animal production yields due to the challenges in controlling disease outbreaks caused by the lengthy diagnosis process. This study compared two DNA extraction methods for *A. hydrophila*, a causative agent of disease in tilapia: an extraction kit and the heat boiling method. The objective was to simplify and efficiently detect *A. hydrophila* carrying the hemolysin gene (*hlyA*). PCR assay results showed that both DNA extraction methods successfully detected the 592 bp amplicon of the *hlyA* gene without additional PCR products. The minimum bacterial concentration for effective DNA extraction and *hlyA* gene detection was 10^6 CFU/mL. The DNA concentrations obtained were 18.8 ng/ μ L and 17.7 ng/ μ L, with purity values of 1.84 and 1.66 for the extraction kit and heat boiling methods, respectively. These results demonstrated that both DNA extraction methods effectively detected *A. hydrophila* via the *hlyA* gene, indicating reliable identification. Furthermore, the PCR results can potentially be used for DNA sequencing and gene-specific primer verification, facilitating the future application of these simplified analytical techniques.

Keywords: DNA extraction, *Aeromonas hydrophila*, Tilapia, PCR, *hlyA* gene

¹ Faculty of Agricultural Technology, Rajamungala University of Technology Thanyaburi,
e-mail: Boontarika@rmutt.ac.th

² Faculty of Agricultural Technology, Rajamungala University of Technology Thanyaburi,
e-mail: Kittima_v@rmutt.ac.th

³ Faculty of Medical Technology, Rangsit University, e-mail: Adun_b@rsu.ac.th

⁴ Faculty of Medical Technology, Rangsit University, e-mail: Somphon.p@rsu.ac.th

* Corresponding author, e-mail: Boontarika@rmutt.ac.th

บทนำ

ในประเทศไทยการเพาะเลี้ยงปลาเป็นอาชีพที่สำคัญ เนื่องจากปลาเป็นสัตว์น้ำที่คนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภค เพาะเลี้ยงไม่ยาก และสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศ สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาเป็นอย่างมาก ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาน้ำจืดที่ได้รับความนิยมเลี้ยงกันมากชนิดหนึ่ง ทั้งในแบบการค้าและเลี้ยงไว้บริโภคภายในครัวเรือน เนื่องจากเป็นปลาที่อดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีสามารถทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ส่วนในพันส่วน ทนต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างได้ดีในช่วง 6.5-8.5 ทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส กินอาหารได้แทบทุกชนิด เนื้อมีรสชาติดี ตลาดมีความต้องการสูง (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553) แต่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลามักประสบปัญหาปลาเป็นโรค ซึ่งโรคที่เกิดขึ้นในสัตว์น้ำสามารถแพร่ระบาดไปตามแหล่งน้ำหรือแหล่งเพาะเลี้ยงปลาอื่น ๆ ได้ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพปริมาณผลผลิต และรายได้ของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำ

โรคติดเชื้อแบคทีเรียนับเป็นโรคติดเชื้อในปลาที่สำคัญ และพบมีการระบาดเป็นอย่างมาก เชื้อแบคทีเรียที่สำคัญ ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* เป็นเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค Motile Aeromonas septicemia (MAS) ในปลาน้ำจืด ปลาที่ติดเชื้อมักพบภาวะเลือดออก โลหิตเป็นพิษ (Hemorrhagic septicemia) และอาจทำให้เกิดแผลเน่าเปื่อยตามผิวหนัง (Ulcer) ทำให้ปลาสามารถติดเชื้อได้ง่าย หากเลี้ยงในสภาวะแวดล้อมที่ผิดปกติ เช่น อุณหภูมิต่ำ หรือปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำกว่าปกติ ส่งผลทำให้ปลามีความเครียด หรืออ่อนแอลง ในประเทศไทยมีรายงาน ว่า โรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* สร้างความเสียหายให้แก่ผู้เลี้ยงปลามากที่สุด ทั้งในบ่อเพาะเลี้ยงและการเพาะเลี้ยงตามธรรมชาติ (จิราพร เกษรจันทร์, ม.ป.ป.) และยังพบการแพร่ระบาดไปสู่สัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ได้ นอกจากนี้ มีการรายงานการระบาดไปทั่วโลก โดยมีการรายงานการแพร่ระบาดของเชื้อ *A. hydrophila* สายพันธุ์ที่รุนแรงในประเทศจีน (Nielsen et al., 2001) ต่อมา มีการรายงานพบการแพร่ระบาดเชื้อ *A. hydrophila* สายพันธุ์ที่รุนแรงในประเทศสหรัฐอเมริกา อันเป็นสาเหตุทำให้ปลา Catfish ตายเป็นจำนวนมาก (Hossain et al., 2014)

การตรวจหาปลาที่ติดเชื้อ *A. hydrophila* จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อทราบถึงการระบาดของเชื้อ และควบคุมโรค วิธีการตรวจวินิจฉัยสามารถทำได้โดยสังเกตอาการและรอยโรค หรือทำการตรวจหาตัวเชื้อโดยเทคนิคทางจุลชีววิทยาด้วยเทคนิคดั้งเดิม (Conventional method) โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อพิเศษ และการทดสอบทางชีวเคมีเพื่อจำแนกชนิดของเชื้อ (Mamnur Rashid et al., 2013) เป็นวิธีที่มีความจำเพาะและความไวสูง แต่ใช้เวลานานและมีความยุ่งยาก ซึ่งความล่าช้าในการตรวจหาอาจทำให้ไม่สามารถควบคุมโรคได้ทัน ปัจจุบัน มีการนำเทคนิค Polymerase chain reaction (PCR) ซึ่งเป็นเทคนิคทางอณูชีววิทยาที่ทำการเพิ่มขยายยีนเป้าหมาย มาช่วยในการตรวจหาตัวเชื้อได้อย่างรวดเร็ว (Porteen et al., 2007) ยีนเป้าหมายที่สำคัญ ได้แก่ *Aero* และ *hlyA* มีบทบาทสำคัญในการผลิตสารพิษ aerolysin และ

hemolysin ในเชื้อ *Aeromonas* ซึ่งยีนทั้งสองยีนเป็นตัวบ่งชี้ความรุนแรงของเชื้อ *A. hydrophila* ที่มีผลทำให้ อัตราการตายของปลาสูงนำมาสู่ความสูญเสียของการเลี้ยงปลา

ดังนั้น การเตรียมดีเอ็นเอเพื่อใช้ในการตรวจสอบภาวะการติดเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำจึงมีความสำคัญ ซึ่งปัจจุบันมีการใช้ชุดสกัดสำเร็จซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตของเกษตรกร การศึกษาวิธีสกัดแบบง่าย เพื่อช่วยลดต้นทุนและช่วยให้เกษตรกรสามารถตรวจการติดเชื้อของสัตว์น้ำ จึงเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งช่วยลด ต้นทุนการผลิตให้เกษตรกรและรองรับการพัฒนาการใช้เทคนิคการตรวจสอบภาวะการติดเชื้ออื่น นอกจากการใช้เทคนิค PCR เช่น เทคนิค Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) ซึ่งเป็นเทคนิคเพิ่มจำนวน สารพันธุกรรมโดยไม่ต้องใช้เครื่อง Thermal cycler แต่ใช้อุณหภูมิประมาณ 60-65 °C ในการเพิ่มจำนวนสาร พันธุกรรม ที่สามารถทำได้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเป็นเครื่องมือราคาไม่แพง มีใช้ในท้องปฏิบัติทั่วไป และสามารถอ่านผลได้ทันที จึงสามารถนำไปปรับใช้ในภาคสนามได้ (Notomi et al., 2000) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนการ เตรียมยีนที่พบจำเพาะในโรคที่เกิดจากการติดเชื้อ *A. hydrophila* จะช่วยในการป้องกันโรคหรือลดระยะเวลาใน การตรวจสอบโรคที่มีจำกัด เพิ่มโอกาสให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบโรคได้ด้วยตนเอง โดยใช้เครื่องมือที่หาซื้อ ได้ง่าย ราคาไม่แพง และประหยัดเวลา อีกทั้ง ยินดีกล่าวสามารถใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาเพื่อการประเมิน ประสิทธิภาพของวิธีการตรวจเชื้อที่พบในปัจจุบัน เช่น การใช้เทคนิค PCR การใช้เทคนิค LAMP เพื่อตรวจหา ระดับของเชื้อ *A. hydrophila* ที่เหมาะสมทั้งในด้านความไวและความจำเพาะเจาะจงของเชื้อในการใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ ในสภาวะที่เหมาะสมของไพรเมอร์ อุณหภูมิ และปริมาณดีเอ็นเอ เพื่อสามารถต่อยอดไปสู่ การจัดทำชุดทดสอบอย่างง่ายให้กับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ลดขั้นตอนการตรวจโรคโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ จำนวนมาก และไม่จำเป็นต้องซื้อชุดทดสอบที่มีราคาแพงได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เปรียบเทียบวิธีการสกัดดีเอ็นเอเพื่อการตรวจหายีน *hlyA* ที่พบจำเพาะเจาะจงในเชื้อก่อโรค *Aeromonas hydrophila* ในปลานิล เพื่อประโยชน์ในการเตรียมตัวอย่างดีเอ็นเอ ที่ใช้ในการเตรียมสิ่งส่งตรวจ และยืนยันการติดเชื้อก่อโรค

วิธีดำเนินการวิจัย

การตรวจยืนยันตัวเชื้อที่ใช้ในการทดสอบ

ทำการตรวจยืนยันตัวเชื้อที่ใช้ในการทดสอบ โดยนำเชื้อมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ *Aeromonas hydrophila* ATCC@35654 (AH) เป็นเชื้อควบคุม *Streptococcus agalactiae* ATCC 28056 (STA) และ *Aeromonas veronii* biogroup *sobria* ATCC 9071 (AS) สำหรับเชื้อ *Aeromonas* นำมาเพาะเลี้ยงบนอาหาร

เลี้ยงเชื้อ Brain heart infusion (BHI) agar และเพาะเลี้ยง STA บนอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI ผสมเลือด นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น นำโคโลนีที่ขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อไปทดสอบการย้อมแกรม (gram staining) และทางชีวเคมี ทำการเก็บเชื้อในหลอด freezing vials ที่อุณหภูมิ -20 °C

การสกัดดีเอ็นเอของเชื้อควบคุม

ทำการสกัดดีเอ็นเอเชื้อ *A. hydrophila* โดยทำการเพาะเลี้ยง BHI Broth ปริมาตร 5 mL นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการละลายเชื้อในน้ำกลั่นปลอดเชื้อให้มีความขุ่นเท่ากับ McFarland Standard No. 0.5 เทียบเท่าเชื้อที่ละลายมีความเข้มข้น 10^8 CFU/mL นำเชื้อที่ละลาย 1 mL ปั่นตกตะกอนที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และดูดส่วนใสทิ้ง นำตะกอนเชื้อไปสกัดดีเอ็นเอโดยใช้ชุดสกัดสำเร็จ QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen, Germany) ทำตามขั้นตอนของบริษัทผู้ผลิต โดยใช้ชุดดีเอ็นเอ 50 µL และสกัดดีเอ็นเอโดยใช้วิธีต้มด้วยความร้อน (boiling heat) นำตะกอนของเชื้อเติมน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ปริมาตร 50 µL แช่ในน้ำเดือดอุณหภูมิ 95-100 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้น นำไปปั่นตกตะกอนที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที และดูดเก็บส่วนใส (ดีเอ็นเอ) เก็บรักษาดีเอ็นเอที่อุณหภูมิ -20 °C วัดปริมาณความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอที่อัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงที่ A260/A280 โดยเครื่อง micro-spectrophotometer (nano-400A)

การทดสอบตรวจหายีน *hlyA* โดยวิธี Polymerase Chain Reaction (PCR) และยืนยันผลโดยวิธี DNA sequencing

สารละลายที่ใช้ในวิธีพีซีอาร์ ปริมาตร 25 µL ประกอบด้วย 1 x buffer with NH_2SO_4 1.5 mM Mg_2Cl 0.2 mM dNTP 0.1 µM primer forward (*hlyA*_F 5' GGCCGGTGGCCCGAAGATACGGG 3') และ primer reverse (*hlyA*_R 5'GGCGGCGCCGGACGAGACGGGG 3') 1 U *taq* DNA polymerase และดีเอ็นเอ 1 µL ทดสอบปฏิกิริยาโดยใช้เครื่อง thermal cycler (BIO-RAD, T100) สภาวะพีซีอาร์ ประกอบด้วย initial denaturation ณ อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 5 นาที denature ณ อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 30 วินาที annealing ณ อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 30 วินาที extension 72 °C 30 วินาที จำนวน 30 รอบ และ final extension 72 °C เป็นเวลา 5 นาที ในการทำปฏิกิริยาใช้ดีเอ็นเอของ AH เป็น positive control และดีเอ็นเอของ STA AS และน้ำกลั่น เป็น negative control นำผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้มาทดสอบ 1.5% agarose gel electrophoresis จากนั้น นำผลผลิตพีซีอาร์ส่งหาลำดับเบส (sanger DNA sequencing) และนำไปวิเคราะห์โดยโปรแกรม nucleotide blast ที่ <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov>

การทดสอบหาความไววิธีการสกัดดีเอ็นเอ

นำเชื้อ *A. hydrophila* ที่เตรียม นำมาเจือจางโดยวิธี ten-fold serial dilution ด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ให้มีความเข้มข้นของเชื้อ 10^7 – 10^4 CFU/mL และสกัดดีเอ็นเอโดยชุดสกัดสำเร็จและวิธีต้มด้วยความร้อน วัดปริมาณความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอ จากนั้น นำดีเอ็นเอที่ได้จากทั้งสองวิธีทดสอบตรวจหายีน *hlyA* ของเชื้อโดยวิธีพีซีอาร์ตามข้างต้น

การทดสอบประสิทธิภาพวิธีการสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือดปลาไนล์

นำตะกอนเชื้อ *A. hydrophila* ที่มีความเข้มข้น 10^8 CFU/mL ผสมกับเลือดปลาไนล์ 1 mL (EDTA-blood) นำเลือดปลาไนล์ที่ผสมเชื้อและเลือดปลาไนล์ไม่ผสมเชื้อ ปริมาตร 200 μ L สกัดดีเอ็นเอโดยชุดสกัดสำเร็จ QIAamp DNA Blood and tissue Kits (Qiagen, Germany) ทำตามขั้นตอนของบริษัทผู้ผลิต ทำการชะดีเอ็นเอ 50 μ L และสกัดดีเอ็นเอโดยวิธีการต้มด้วยความร้อน โดยนำเลือดปลาไนล์ที่ผสมเชื้อ ปริมาตร 200 μ L ทำให้เม็ดเลือดแดงแตกด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ปริมาตร 200 μ L ทำการปั่นที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที นาน 1 นาที ดูดของเหลวส่วนด้านบนทิ้ง (อีโมโกลบิน) ทำซ้ำ 2 ครั้ง จนได้ตะกอนสีขาวและนำไปสกัดดีเอ็นเอโดยวิธีการต้มด้วยความร้อน จากนั้น นำดีเอ็นเอที่ได้จากทั้งสองวิธีไปทำการทดสอบตรวจหายีน *hlyA* ของเชื้อโดยวิธีพีซีอาร์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การตรวจยืนยันตัวเชื้อที่ใช้ในการทดสอบ

ผลการตรวจยืนยันตัวเชื้อที่ใช้ในการทดสอบจากเชื้อมาตรฐานที่ใช้เป็น positive control คือ *Aeromonas hydrophila* ATCC@35654 (AH) เป็นสายพันธุ์ที่มียีน *hlyA* หรือสร้างสารพิษ hemolysin ซึ่งเป็นสารพิษสำคัญที่เป็นสาเหตุการตายของปลาที่ติดเชื้อ (Yours et al., 2007) โดยใช้ *S. agalactiae* ATCC 28056 (STA) เป็นเชื้อก่อโรคในปลาไนล์ และ *Aeromonas veronii* biogroup sobria ATCC 9071 (AS) เป็นเชื้อที่พบได้ในแหล่งน้ำและเป็นเชื้อกลุ่มเดียวกับกับเชื้อ *A. hydrophila* (AH) ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้เชื้อทั้งสองเป็น negative control และความจำเพาะของการตรวจหายีน *hlyA* ในเชื้อ AH นำเชื้อทั้งหมดมาทดสอบยืนยัน โดยทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อและทดสอบทางชีวเคมี (Convention method) ผลทดสอบให้ผลยืนยันตัวเชื้อถูกต้องดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตรวจยืนยันตัวเชื้อมาตรฐานที่นำมาใช้ทดสอบ

สายพันธุ์	Hemolysis on BA	Catalase	Oxidase	TSI	Motile	LIA	OD	AD	VP	0% NaCl	6.5% NaCl	BE
AH	β	+	+	K/Ag	+	-/-	-	+	+	G	NG	+
AS	β	+	+	K/Ag	+	-/-	-	+	+	G	NG	-
STA	β	-					PPRA +				-	-

หมายเหตุ β : เม็ดเลือดแดงแตกโดยสมบูรณ์ G: growth NG: no growth K/Ag: glucose ferment และสร้าง gas

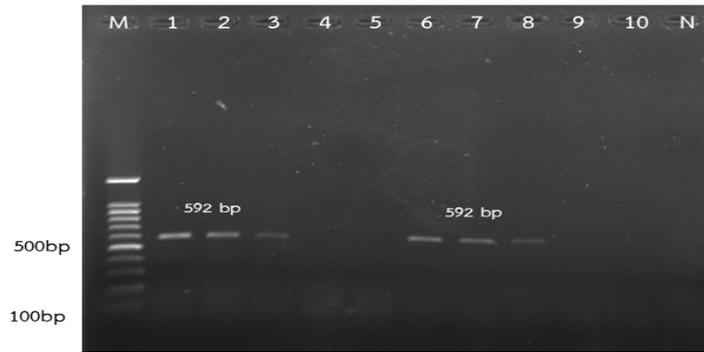
การสกัดดีเอ็นเอจากเชื้อควบคุม

ผลจากการสกัดดีเอ็นเอจากเชื้อ *A. hydrophila* ปริมาตร 1 mL ที่มีความเข้มข้น 10^8 CFU/mL พบว่า ดีเอ็นเอจากชุดสกัดสำเร็จ มีความเข้มข้นเท่ากับ 64.9 ng/ μ L และความบริสุทธิ์ 1.86 ในขณะที่ดีเอ็นเอจากวิธีการต้มด้วยความร้อน มีความเข้มข้นเท่ากับ 70.8 ng/ μ L และความบริสุทธิ์ 1.74 แสดงว่า การสกัดดีเอ็นเอทั้งสองวิธีให้ความเข้มข้นใกล้เคียงกัน ค่าอัตราส่วนของ A260/A280 อยู่ในช่วง 1.7-1.9 แสดงถึง ดีเอ็นเอมีความบริสุทธิ์ ไม่มีการปนเปื้อนของโปรตีนที่อาจไปรบกวนปฏิกิริยาพีซีอาร์ได้ และมีความเข้มข้นดีเอ็นเอที่สกัดได้เพียงพอสำหรับตรวจหายีน *hlyA* โดยวิธีพีซีอาร์

การตรวจหายีน *hlyA* โดยวิธีพีซีอาร์ และยืนยันผลโดยวิธี DNA sequencing

ผลการทดสอบตรวจหายีน *hlyA* โดยวิธีพีซีอาร์จากดีเอ็นเอที่สกัดได้ทั้งสองวิธีข้างต้น พบว่า ให้ผลผลิตพีซีอาร์ ขนาด 592 คู่เบส (bp) ทั้งสองวิธี และไม่พบผลผลิตพีซีอาร์ในดีเอ็นเอของเชื้อ *S. agalactiae* และ *A. sobria* ที่เป็น Negative control (ภาพที่ 1) ซึ่งให้เห็นว่า ดีเอ็นเอที่สกัดด้วยวิธีดังกล่าวนำไปใช้ตรวจหายีน *hlyA* ของเชื้อ *A. hydrophila* และมีความจำเพาะ เมื่อนำผลผลิตพีซีอาร์จากดีเอ็นเอไปหาลำดับเบสดังภาพที่ 2 และนำไปวิเคราะห์โดยโปรแกรม nucleotide blast พบว่า ผลผลิตพีซีอาร์มีลำดับเหมือนกับยีน *hemolysin* ใน *A. hydrophila* strain AH085 และ *A. hydrophila* strain JNC1007 ร้อยละ 97 และ 95 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Rozi & Daruti (2018) ดังนั้น โปรเมออร์ที่ศึกษาในครั้งนี้ มีความจำเพาะต่อยีน *hlyA* ของเชื้อ *A. hydrophila* จึงสามารถนำมาใช้แยกวินิจฉัย *A. hydrophila* และบ่งชี้ถึงสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรครุนแรงได้

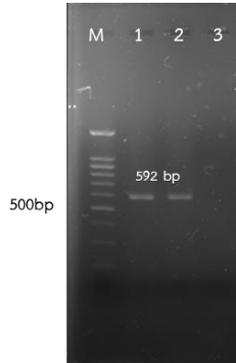
มัลติเพล็กซ์พีซีอาร์ โดยใช้ดีเอ็นเอความเข้มข้น 5 ng/ μ L อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ Latif-Eugenin et al (2016) สามารถตรวจหา ยีน glycerophospholipid-cholesterol acyltransferase (gcat) โดยวิธีพีซีอาร์ โดยใช้ความเข้มข้นของเชื้อ *A. hydrophila* 2.5-25 CFU/mL



ภาพที่ 3 ผลผลิตพีซีอาร์ บน 1.5% agarose gel electrophoresis จากการตรวจหา ยีน *hlyA* จากดีเอ็นเอที่สกัดจากเชื้อที่มีความเข้มข้นต่างกัน การสกัดด้วยชุดสกัดสำเร็จ : M คือ 100 bp marker 1) 10^8 CFU/mL 2) 10^7 CFU/mL 3) 10^6 CFU/mL 4) 10^5 CFU/mL 5) 10^4 CFU/mL การสกัดด้วยการต้มด้วยความร้อน 6) 10^8 CFU/mL 7) 10^7 CFU/mL 8) 10^6 CFU/mL 9) 10^5 CFU/mL 10) 10^4 CFU/mL และ N: no template control

การทดสอบประสิทธิภาพวิธีการสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือดปลานิล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพวิธีการสกัดดีเอ็นเอจากเลือดปลานิลผสมเชื้อ *A. hydrophila* โดยชุดสกัดดีเอ็นเอแบบสำเร็จและการต้มด้วยความร้อนร่วมกับการสลายเม็ดเลือดแดงด้วยน้ำกลั่น พบว่า ดีเอ็นเอที่สกัดทั้งสองวิธีสามารถให้ผลผลิตพีซีอาร์ขนาด 592 คู่เบส (ภาพที่ 4) ดังนั้น วิธีการสกัดทั้งสองวิธีสามารถนำมาใช้สกัดดีเอ็นเอจากสิ่งส่งตรวจ เพื่อตรวจแยกวินิจฉัยเชื้อ *A. hydrophila* โดยวิธีพีซีอาร์ได้ การศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ดีเอ็นเอที่สกัดโดยชุดสกัดสำเร็จและการต้มด้วยความร้อน สามารถนำไปตรวจหา ยีน *hlyA* ด้วยวิธีพีซีอาร์ได้ โดยให้ความเข้มข้นของดีเอ็นเอและความบริสุทธิ์ที่ใกล้เคียง เมื่อสกัดจากเชื้อความเข้มข้นของเชื้อเท่ากัน และสามารถสกัดดีเอ็นเอจากเชื้อจากสิ่งส่งตรวจได้ อย่างไรก็ตาม การสกัดดีเอ็นเอโดยการต้มด้วยความร้อน เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก และราคาไม่แพง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปหรือนอกสถานที่ได้ โดยมีความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอที่สกัดได้เพียงพอต่อการตรวจหา ยีนด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น LAMP และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสกัดสิ่งส่งตรวจอื่นเพื่อวินิจฉัยโรคติดเชื้อในปลาได้



ภาพที่ 4 ผลผลิตพีซีอาร์ บน 1.5 % agarose gel electrophoresis จากดีเอ็นเอที่สกัดจาก ตัวอย่างเลือดผสมเชื้อ : M คือ 100 bp marker 1) ดีเอ็นเอจากชุดสกัดดีเอ็นเอแบบสำเร็จ 2) ดีเอ็นเอจากการต้มด้วยความร้อน และ 3) ดีเอ็นเอจากเลือดที่ไม่ผสมเชื้อ

สรุป

การสกัดดีเอ็นเอจากเชื้อก่อโรค *A. hydrophila* @ATCC 35654TM โดยชุดสกัดดีเอ็นเอแบบสำเร็จ และวิธีต้มด้วยความร้อน สามารถนำไปตรวจหายีน *hlyA* โดยวิธีพีซีอาร์ ซึ่งเป็นยีนเป้าหมายที่สามารถวินิจฉัยหรือจำแนก *A. hydrophila* ออกจากเชื้อก่อโรคในปลาชนิดอื่นและเชื้อในกลุ่มเดียวกันได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสกัดดีเอ็นเอจากสิ่งส่งตรวจเลือดโดยความเข้มข้นเชื้อไม่น้อยกว่า 10^6 CFU/mL และเลือกใช้วิธีสกัดที่เหมาะสมกับเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ลำดับเบสจากผลผลิตพีซีอาร์ สามารถนำไปใช้เป็นแม่แบบในการออกแบบไพรเมอร์โดยเทคนิคอณูชีววิทยาอื่น ๆ ได้

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเตรียมดีเอ็นเอเพื่อตรวจหายีน *hemolysin* เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อนำไปพัฒนาวิธีสกัดดีเอ็นเอจากสิ่งส่งตรวจชนิดอื่น ๆ ในการวินิจฉัยเชื้อก่อโรคในปลาให้มีความง่ายและสะดวก และสามารถนำไปใช้กับการตรวจหายีนต่าง ๆ โดยเทคนิคอณูชีววิทยาอื่น ๆ นอกเหนือจากวิธีพีซีอาร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนจาก กองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการสนับสนุนคณะผู้วิจัยดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

จิราพร เกษรจันทร์. (ม.ป.ป). **กรมประมง กับ สถานการณ์ TiLV**. สืบค้นจาก

<http://www.kuva.or.th/seminar2017/semina09/file/03.pdf>

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. (2553). **เอกสารคำแนะนำ การเพาะเลี้ยงปลานิล**. ฝ่ายเผยแพร่ ส่วนเผยแพร่การประมง, สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Hossain, M.J., Sun, D., McGarey, D.J., Wrenn, S., Alexander, L.M., Martino, M.E., Xing, Y., Terhune, J.S., & Liles, M.R. (2014). An Asian origin of virulent *Aeromonas hydrophila* responsible for disease epidemics in United States-farmed catfish. **mBio**, 5(3), e00848-14.

Latif-Eugenín, F., Beaz-Hidalgo, R., & María José, F. (2016). A Culture Independent Method for the Detection of *Aeromonas* sp. from Water Samples. **Italian Journal Food Safety**, 5(1), 5489.

Mamnur Rashid, M., Hossain, M.S., & Ali, M.F. (2013). Isolation and Identification of *Aeromonas hydrophila* from silver carp and its culture environment from Mymensingh region. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, 11(2), 373-376.

Nielsen, M.E., Hoi, L., Schmidt, A.S., Qian, D., Shimada, T., Shen, J.Y., & Larsen, J.L. (2001). Is *Aeromonas hydrophila* the dominant motile *Aeromonas* species that causes disease outbreaks in aquaculture production in the Zhejiang Province of China?. **Diseases of Aquatic Organisms**, 46, 23-29.

Notomi, T., Okayama, H., Masubuchi, H., Yonekawa, T., Watanabe, K., Amino, N., & Hase, T. (2000). Loop-mediated isothermal amplification of DNA. **Nucleic Acids Research**, 28(12), e63.

Porteen, K. Agarwal, R.K., & Bhilegaonkar, K.N. (2007). Detection of *Aeromonas* sp. From Chicken and Fish Samples by Polymerase Chain Reaction. **American Journal of Food Technology**, 2(1), 30-37.

Rozi, K.R., & Daruti, D.N. (2018). Detection and analysis of hemolysin genes in *Aeromonas hydrophila* isolated from Gouramy (*Osphronemus gouramy*) by polymerase chain reaction (PCR). In ASEAN-FEN international fisheries symposium. **Earth and Environmental Science**, 137, 012001.

- Wang, G., Clark, C.G., Liu, C., Pucknell, C., Munro, C.K., Kruk, T.M., Caldeira, R., Woodward, D.L., & Rodgers, F.G. (2003). Detection and characterization of the hemolysin genes in *Aeromonas hydrophila* and *Aeromonas sobria* by multiplex PCR. **Journal of Clinical Microbiology**, 41(3), 1048-1054.
- Yousr, A.H., Napis, S., Rusul, G.R.A., & Son, R. (2007). Detection of Aerolysin and Hemolysin Genes in *Aeromonas* spp. Isolated from Environmental and Shellfish Sources by Polymerase Chain Reaction. **Asian Food Journal**, 14(2), 115-122.

ผลของสารสกัดหยาบจากหางไหลต่อควบคุมหนอนกระทู้ผัก

วิชชуда มั่นจิตร¹ ณพัฏฐอร บัวฉุน^{2*}

Received : September 17, 2023

Revised : August 28, 2024

Accepted : September 24, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดหนอนกระทู้ผักโดยวิธีการสัมผัส และวิธีการกินสารสกัดจากราก ใบ และลำต้นหางไหล ที่สกัดด้วยเอทานอลในแต่ละความเข้มข้น (0.5, 1, 4, 8 และ 10 % w/v) พบว่า การสัมผัสสารสกัดหยาบจากรากหางไหลที่ความเข้มข้น 10 % w/v ทำให้หนอนกระทู้ผักตายมากที่สุดภายใน 7 วัน ถึง 40% รองลงมา คือ สารสกัดหยาบจากใบ และลำต้นหางไหล ที่ 30% และ 20% ตามลำดับ ส่วนการทดสอบโดยวิธีการกิน พบว่า สารสกัดหยาบจากรากหางไหลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินของหนอนกระทู้ผักในปริมาณสูง มีค่า percent antifeedant index (% AFI) เท่ากับ 16.22 รองลงมาคือสารสกัดหยาบจากใบหางไหล และสารสกัดหยาบจากลำต้นหางไหลมีค่า % AFI เท่ากับ 20.56 และ 21.35 ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาบจากราก ใบ และลำต้นหางไหลที่ความเข้มข้น 10% w/v ทำให้หนอนกระทู้ผักตายมากที่สุดได้ภายใน 7 วัน และสามารถนำสารสกัดหยาบมาใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืช เพื่อทดแทนการใช้สารเคมีในการเกษตรได้

คำสำคัญ: สารสกัดหยาบ หนอนกระทู้ผัก หางไหล

¹ อาจารย์กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
อีเมล: wichuda.man@vru.ac.th

² อาจารย์ประจำสาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
จังหวัดปทุมธานี อีเมล: napattaom@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: napattaom@vru.ac.th

EFFECTS OF CRUDE EXTRACT FROM *DERRIS ELLIPTICA* BENTH.
ON THE CONTROL OF COMMON CUTWORM
(*Spodoptera litura* Fabricius)

Wichuda Manjit¹ Napattaorn Buachoon^{2*}

Abstract

This research aimed to study the effectiveness of controlling common cutworms using crude extracts from the roots, leaves, and stems of *Derris elliptica* Benth. extracted with ethanol at various concentrations (0.5, 1, 4, 8, and 10% w/v). It was found that the crude extract from *Derris elliptica* Benth. roots at a concentration of 10% w/v caused the most common cutworm deaths within 7 days, up to 40%. This was followed by extracts from the leaves and stems, causing 30% and 20% mortality, respectively. In feeding tests, the crude extract from the roots showed a high antifeeding effect on common cutworms, with a percent antifeedant index (% AFI) of 45.81. The crude extracts from the leaves and stems had % AFIs of 31.21 and 10.67, respectively. These experimental results demonstrated that the crude extracts from the roots, leaves, and stems of *Derris elliptica* Benth. at a 10% w/v concentration were the most effective in causing deaths of common cutworms within 7 days. These extracts could potentially be used to control pest insects as an alternative to chemical pesticides in agriculture.

Keywords: Crude Extract, *Derris elliptica* Benth, Common Cutworm

¹ Lecturer of Science and Technology subject group, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Demonstration School, e-mail: wichuda.man@vru.ac.th

² Lecturer of Chemistry and Science Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: napattaorn@vru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: napattaorn@vru.ac.th

บทนำ

หนอนกระทู้ผัก (Common cutworm) จัดได้ว่าเป็นแมลงศัตรูพืชของพืชเศรษฐกิจ เช่น ไม้ผล พืชไร่ และไม้ดอก ได้แก่ พืชตระกูลกะหล่ำ หอมใหญ่ หน่อไม้ฝรั่ง มันเทศ กระเจี๊ยบเขียว เป็นต้น มักสร้างความเสียหายให้แก่พืชตลอดทั้งปี โดยหนอนระยะแรกจะเข้าทำลายเป็นกลุ่มในระยะต่อมาจะทำลายรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากเป็นหนอนที่มีขนาดใหญ่สามารถกัดกินใบ ก้าน ทำความเสียหาย และยากแก่การป้องกันกำจัด ซึ่งการเข้าทำลายจะเกิดเป็นหย่อม ๆ ตามจุดที่ตัวเมียวางไข่ และมักแพร่ระบาดได้อย่างรวดเร็วตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ทำให้เกิดความเสียหายกับพืชผัก ผลไม้ ไม้ดอก และไม้ประดับ ทำให้ผลผลิตตกต่ำ อีกทั้งยังพบว่ามีภาระระบาดของหนอนกระทู้ผักตลอดทั้งปี เกษตรกรจึงนิยมใช้สารฆ่าแมลงที่สังเคราะห์ขึ้นในการป้องกัน และกำจัดหนอนกระทู้ผัก เนื่องจากมีความรวดเร็ว สะดวก แต่สิ่งที่ตามมา คือ ส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกายของเกษตรกรผู้ปลูก รวมไปถึงผู้บริโภค ศัตรูธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมได้ (กุลชาติ บุรณะ และประกายจันทร์ นิมกักรัตน์, 2563) เช่น สารเคมีตกค้างในผลผลิต และสิ่งแวดล้อม สัตว์ และสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ตาย ลดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ และที่สำคัญแมลงสามารถสร้างความต้านทานต่อสารเคมี (Dey et al., 2013)

ปัจจุบัน กระแสเรื่องสิ่งแวดล้อมและการบริโภคเพื่อสุขภาพมีการตื่นตัวกันเพิ่มมากขึ้น ผู้คนทั่วโลกต่างแสวงหาสิ่งดำรงชีพที่ปราศจากการปนเปื้อนของสารเคมี และสารพิษต่าง ๆ ทั้งที่มนุษย์รู้จักการใช้สมุนไพรป้องกันกำจัดศัตรูพืชมานานแล้ว แต่สิ่งเหล่านี้กลับถูกมองข้าม ขาดการเผยแพร่ ประกอบกับสารเคมีทางการเกษตรในปัจจุบันหาได้ง่าย ใช้ได้ง่าย และเห็นผลรวดเร็วกว่า แต่เมื่อมีการใช้ในระยะเวลาอันยาวนาน ๆ จะเริ่มส่งผลเสียออกมาให้เห็น มีทั้งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อมด้วย รวมทั้งแมลงที่สามารถที่จะสร้างความต้านทานต่อสารเคมีสังเคราะห์ได้ เมื่อทำการฉีดพ่นติดต่อกันระยะหนึ่ง จึงทำให้เกษตรกรมีการใช้สารเคมีมากขึ้นและจำเป็นต้องสังเคราะห์สารชนิดใหม่ที่มีความเป็นพิษมากขึ้นมาเรื่อย ๆ ก่อให้เกิดปัญหาสารเคมีตกค้างที่มีความรุนแรงมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้บรรดาเกษตรกรเริ่มหันมาให้ความสนใจกับการปลูกพืชผักผลไม้ที่ปราศจากสารพิษ และหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อที่จะนำมาใช้ทดแทนสารเคมี พืชสมุนไพรจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจที่สุด ซึ่งปัจจุบันภาคธุรกิจได้หันมาผลิตสารสกัดจากสมุนไพรเพื่อใช้สำหรับกำจัดศัตรูพืชออกมาจำหน่ายกันอย่างแพร่หลาย ข้อดีของสารสกัดจากพืชที่นำมาทดแทนสารเคมีได้ดีเนื่องจากฤทธิ์ยับยั้งการกินทำให้แมลงไม่มีโอกาสได้รับสารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกายหรือได้รับในปริมาณน้อย ดังนั้นโอกาสที่จะชักนำให้แมลงสร้างความต้านทานต่อสารออกฤทธิ์ดังกล่าวจึงมีน้อยกว่า ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้สารสกัดจากพืชเป็นอีกหนทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาพัฒนาทดแทนสารเคมีที่มีพิษสูง (สุภาณี พิมพ์สมาน และคณะ, 2546) และในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาวิจัยสารสกัดจากพืชสมุนไพรในการควบคุมแมลงศัตรูพืชในกลุ่มหนอนผีเสื้อ เช่น หนอนกระทู้ผัก หนอนใยผัก ซึ่งทำลายพืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ (Bomford & Isman, 1996) แม้ว่าการใช้สารสกัดจากพืช

ควบคุมแมลงมีหลักฐานเบื้องต้นในการยืนยันถึงประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงรวมทั้งมีความปลอดภัย แต่อย่างไรก็ตามควรทำการคัดเลือกพืชที่มีประสิทธิภาพและที่สำคัญต้องมีความปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม เพื่อสร้างความมั่นใจในการใช้สารสกัดจากพืช และทำให้เกิดการยอมรับตั้งแต่การคัดเลือกพืช การปลูก การผลิต ตลอดจนการใช้ได้อย่างต่อเนื่อง

หางไหล หรือโล่ตีน (*Derris elliptica* Benth) เป็นพืชสมุนไพร มีลักษณะเป็นไม้เถาเลื้อยขนาดเล็ก เนื้อไม้แข็ง เจริญเติบโตได้ดีในป่าชื้น ชายแม่น้ำ ลำคลองทั่วไป หางไหลจัดเป็นพืชที่มีศักยภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากสารสกัดจากหางไหลมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ คือ โรติโนน (Rotenone) นอกจากนี้มีสารอื่นที่พบ คือ ดีกัวลิน (Degualin) อีลิปโทน (Elliptone) สุมาทรอล (Sumatrol) และทอกซิคารอล (Toxicarol) หางไหลมีฤทธิ์ในการป้องกันกำจัดแมลงหลายชนิด เช่น หนอนกระทู้ผัก หนอนกะหล่ำ หนอนกินใบ หนอนเจาะสมอฝ้าย หนอนใยผัก ตัวงาเจาะเมล็ดถั่ว เพลี้ยอ่อนฝ้าย แมลงวันผลไม้ชนิดต่าง ๆ และทำให้ปลาหลับได้ แต่ไม่มีพิษต่อมนุษย์ เนื่องจากสารตัวนี้สลายตัวง่ายจึงไม่เกิดการตกค้างบนพืชผัก เหมือนสารเคมีกำจัดแมลงทั่วไป สารโรติโนนพบในส่วนของโคนต้น ก้านใบ ลำต้น ใบ รากกิ่ง ราก และพบมากในส่วนของราก พบในหางไหลขาวมากกว่าหางไหลแดง จัดเป็นสารพิษที่มีพิษต่อคน และสัตว์ โดยเฉพาะต่อปลาที่มีผลของพิษสูง กลไกการออกฤทธิ์จะเกิดจากพิษที่เข้ายับยั้งขั้นการส่งอิเล็กตรอนในเซลล์ของกระบวนการหายใจ ทำให้สัตว์ที่ได้รับพิษหายใจไม่ออกแต่สารโรติโนนมีคุณสมบัติสลายตัวได้ง่ายในธรรมชาติ

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบผลของสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของต้นหางไหล ได้แก่ ใบ ลำต้น และ ราก เพื่อใช้ในการป้องกันกำจัดหนอนกระทู้ผัก เนื่องจากมีการศึกษายังไม่มากในการนำส่วนต่างๆของต้นหางไหล มาควบคุมหนอนกระทู้ผัก โดยผลการทดลองนี้จะใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและกำจัดแมลงบางชนิด และ การศึกษาถึงผลในการควบคุมหนอนกระทู้ผักจากส่วนต่าง ๆ ของหางไหลได้แก่ ใบ ลำต้น และราก ซึ่งคาดว่าจะ เป็นประโยชน์ต่อการค้นพบ การใช้สารสกัดจากธรรมชาติในการควบคุมหนอนกระทู้ผักและแมลงอื่น ๆ ในอนาคต ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากหางไหลในการกำจัดหนอนกระทู้ผักโดยวิธีการสัมผัส
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากหางไหลในการกำจัดหนอนกระทู้ผักโดยวิธีการกิน

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมหนอนกระพุ่มัก

นำหนอนกระพุ่มักจากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ บางเขน กรุงเทพฯ มาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนหนอนกระพุ่มักเจริญเติบโตเข้าระยะที่ 3 คือ ระยะหนอน ที่ใช้ระยะเวลา 16-21 วัน นำไปทดลองในขั้นต่อไป

การสกัดสารจากหางไหล

เก็บหางไหลจากสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง โดยใช้ ส่วนใบ ราก ลำต้น ของต้นหางไหล นำมาทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผึ่งลมให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด ซั่งตัวอย่างแต่ละส่วนจำนวน 1,500 กรัม นำมาแช่ในตัวทำละลายเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 5 ลิตร ปิดภาชนะทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนดเก็บสารละลายที่ได้มากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และนำกากที่เหลือไปแช่เอทานอล อีก 3 ครั้ง หลังจากนั้นทำการรวมสารสกัดทั้งหมดมาระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสารภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) จะได้เป็นส่วนสกัดหยาบชั้นเอทานอล ซั่งน้ำหนักของสารสกัดหยาบแต่ละส่วนที่ได้ เก็บสารสกัดหยาบที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทดสอบกับหนอนกระพุ่มักต่อไป

การทดสอบกับหนอนกระพุ่มัก

การทดสอบความเป็นพิษโดยการสัมผัส (Contact toxicity) (ดัดแปลงจาก Huang et al. 2002; Hummelbrunner, 2001)

เตรียมสารสกัดหยาบที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 4, 8, 10 % w/v โดยซั่งสารสกัดหยาบมา 0.0015, 0.003, 0.012, 0.024, 0.03 กรัม ตามลำดับ ทำการละลายใน 99% เอทานอล ที่ปริมาตร 300 ไมโครลิตร และใช้สารฆ่าแมลงยูนิค 40 ที่ความเข้มข้น 0.1 % v/v เพื่อทำเป็น Positive และใช้ 99% เอทานอล เป็นชุดควบคุม หลังจากนั้นนำหนอนกระพุ่มักที่ทำการเลี้ยงไว้ในระยะที่ 3 มาจำนวนชุดละ 10 ตัว ต่อสารสกัด 1 ความเข้มข้น ทำการซั่งน้ำหนักของหนอนกระพุ่มักและนำสารสกัดหยาบแต่ละส่วนมาหยดลงบนตัวของหนอนกระพุ่มักบริเวณ ปล้องที่ 3 ปริมาตร 5 ไมโครลิตร ปล่อยให้แห้งให้สารสกัดแห้ง ทำการย้ายหนอนกระพุ่มักไปไว้ในอาหารเทียม สังเกต และบันทึกการตายทุกวันจนหนอนเข้าดักแด้และเจริญออกเป็นตัวเต็มวัย โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการกิน (Two choice leaf disc test) (ดัดแปลงจาก จักรพงษ์ สุภาวรรณ และคณะ, 2564)

ทำการเตรียมสารสกัดให้มีความเข้มข้น 10 % w/v โดยซั่งสารสกัดหยาบแต่ละชนิดมาจำนวน 0.05 กรัม ละลายใน 99% เอทานอล ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และใช้สารฆ่าแมลงยูนิค 40 ที่ความเข้มข้น 0.1 % v/v เพื่อใช้เป็น Positive ทำการเก็บใบค่น้ำมาล้าง เช็ดให้แห้ง ตัดให้เป็นรูปวงกลมขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร หยอดสารสกัดที่เตรียมไว้ลงบนใบคะน้าด้านบน ปริมาตร 30 ไมโครลิตร จำนวน 10 ใบ ต่อหนึ่งความเข้มข้นของสารสกัดและหยอดสารที่ใช้เป็นตัวทำลาย 99% เอทานอล ปริมาตร 30 ไมโครลิตร จำนวน 10 ใบต่อหนึ่งชุดการทดลอง เพื่อใช้เป็นชุดควบคุม ผึ่งให้ตัวทำลายบนใบคะน้าระเหยจนแห้ง หลังจากนั้นนำใบคะน้ามาวางบนจานเพาะเลี้ยง และนำหนอนกระตู่ฝักที่ทำการเพาะเลี้ยงในระยะที่ 3 ที่ชั่งน้ำหนักและอดอาหารแล้ว 5 ชั่วโมง จำนวน 1 ตัวใส่ลงไปในบริเวณกึ่งกลางของจานเลี้ยงเชื้อ ปิดฝาจานเลี้ยงเชื้อที่มีรูสำหรับระบายอากาศ ปลอ่ยให้หนอนกระตู่ฝักเลือกกินใบคะน้าเป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำหนอนออก นำใบคะน้าที่เหลือมาวัดพื้นที่บนใบที่ถูกกินโดยใช้กระดาษกราฟ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่า Antifeedant index (AFI) โดยใช้สูตร

$$AFI = [(C-T)/(C+T)] \times 100$$

เมื่อ C คือ ปริมาณใบ control ที่ถูกกิน

T คือ ปริมาณใบที่หยอดสารสกัดที่ถูกกิน

โดยค่า % AF จะอยู่ในช่วง -100 ถึง +100 เมื่อ +100 หมายถึง มีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินสูง

การวิเคราะห์ผลข้อมูล

นำข้อมูล อัตราการตายของหนอนกระตู่ฝักจากสารสกัดมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Duncan Multiple Rang Test (DMRT) และวิเคราะห์หาค่า LC_{50} , LC_{90} โดยวิธี Probit analysis (Abbott, 1925)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการเตรียมสารสกัด

ผลการสกัดส่วนต่าง ๆ ของหางไหล ได้แก่ ราก ใบ และลำต้น โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำลาย ได้สารสกัดหยาดเอทานอลส่วน ราก ใบ และลำต้นของต้นหางไหล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะสารสกัด และร้อยละของสารสกัดจากราก ใบ และลำต้นต้นหางไหล

สารสกัด	ลักษณะสารสกัด	ร้อยละของสารสกัด
ราก	ของเหลวข้นสีน้ำตาลเข้ม	15.21
ใบ	ของเหลวข้นสีเขียวเข้ม	10.56
ลำต้น	ของเหลวข้นสีน้ำตาลเข้ม	12.98

จากการสกัดทางไหลจากส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ใบ ลำต้น โดยสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ 95% เอทานอล ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานโดยทั่วไปที่ง่ายต่อการปฏิบัติ ซึ่งสารสกัดหยาบที่ได้จากราก และลำต้น มีลักษณะเป็นของเหลวข้นสีน้ำตาลเข้ม และใบเป็นของเหลวข้นสีเขียวเข้ม

ผลการทดสอบความเป็นพิษโดยวิธีการสัมผัส

ผลของการทดสอบสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของทางไหลที่ความเข้มข้น 10 % w/v ต่อความเป็นพิษโดยการสัมผัสกับหนอนกระทุ้งผัก พบว่า สารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของทางไหลที่สกัดด้วยตัวทำละลาย เอทานอล ออกฤทธิ์ต่อการสัมผัสหนอนกระทุ้งผักเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งสารสกัดหยาบจากราก ใบ และลำต้น ทำให้หนอนกระทุ้งผักไม่เข้าดักแด้ที่ 40 % 20 % และ 30 % ตามลำดับ และทำให้หนอนกระทุ้งผักไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัยที่ 80 % 50 % และ 60 % ตามลำดับ จากการทดสอบความเป็นพิษโดยวิธีการสัมผัสจากส่วนต่าง ๆ ของต้นทางไหล ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการหลังจากทดสอบ 7 วัน ผลการทดสอบสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของทางไหลที่ความเข้มข้น 10 % w/v พบว่า สารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของทางไหลที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล มีแนวโน้มออกฤทธิ์ต่อการสัมผัสหนอนกระทุ้งผัก การทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของจักรพงษ์ สุภาวรณ และคณะ (2564) ที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสะเดา ขมิ้นชัน และสาบเสือต่อหนอนกระทุ้งผักโดยวิธีการสัมผัส พบว่า หลังทดสอบ 7 วัน สารสกัดจากขมิ้นชันที่ความเข้มข้น 10% ให้ผลการตายของหนอนกระทุ้งผักดีที่สุด รองลงมา ได้แก่ สารสกัดจากสาบเสือที่ระดับความเข้มข้น 10%

เมื่อนำสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของทางไหลมาทดสอบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 0.5, 1, 4, 8, 10 % w/v พบว่า สารสกัดหยาบจากรากทางไหล มีแนวโน้มออกฤทธิ์ต่อวิธีการสัมผัสกับหนอนกระทุ้งผักโดยมีผลทำให้หนอนกระทุ้งผักมีอัตราการตายใน 7 วัน เป็น 0, 0, 10, 20 และ 40 % ตามลำดับ ทำให้หนอนกระทุ้งผักไม่เข้าดักแด้ เป็น 0, 0, 0, 0 และ 40 % ตามลำดับ และไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัย เป็น 30, 30, 30, 40 และ 80 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า สารสกัดหยาบจากรากทางไหลมีฤทธิ์ต่อการสัมผัสกับหนอนกระทุ้งผักได้ดีที่สุด

สารสกัดหยาบจากลำต้นทางไหลที่ความเข้มข้น คือ 0.5, 1, 4, 8, 10 % w/v เมื่อทำการทดสอบมีแนวโน้มออกฤทธิ์ต่อวิธีการสัมผัสกับหนอนกระทุ้งผักโดยมีผลทำให้หนอนกระทุ้งผักมีอัตราการตายใน 7 วัน เป็น 0, 0, 10, 20, 20 % ตามลำดับ ทำให้หนอนกระทุ้งผักไม่เข้าดักแด้ เป็น 0, 0, 0, 20 และ 20 % ตามลำดับ และไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัย เป็น 30, 30, 30, 40 และ 50 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า สารสกัดหยาบจากใบไหล มีฤทธิ์ต่อการสัมผัสกับหนอนกระทุ้งผักได้ดีรองจากสารสกัดหยาบจากรากทางไหล

สารสกัดหยาบจากใบทางไหลที่ความเข้มข้น คือ 0.5, 1, 4, 8 , 10 % w/v เมื่อทำการทดสอบมีแนวโน้มออกฤทธิ์ต่อการสัมผัสกับหนอนกระทุ้งผักโดยมีผลทำให้หนอนกระทุ้งผักมีอัตราการตายใน 7 วัน เป็น 0, 0, 10, 20, 30 % ตามลำดับ ให้หนอนกระทุ้งผักไม่เข้าดักแด้ เป็น 0, 0, 10, 20 และ 30 % ตามลำดับ และไม่

เจริญเป็นตัวเต็มวัย เป็น 10, 10, 20, 30 และ 60 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า สารสกัดหยาบจากลำต้นทางไหล มีฤทธิ์ต่อการสัมผัสกับหนอนกระพู่ผักได้ดี

สารฆ่าแมลงยูนิออก 40 ที่ใช้เป็นสาร Positive ที่ความเข้มข้น 0.1 % v/v สามารถออกฤทธิ์ต่อวิธีการสัมผัสกับหนอนกระพู่ผักโดยมีผลทำให้หนอนกระพู่ผักมีอัตราการตายใน 1 วัน เป็น 50 % ตายภายใน 7 วัน เป็น 70 % ไม่เข้าดักแด้ 70 % และไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัย 70 % แสดงให้เห็นว่าสารฆ่าแมลงยูนิออก 40 มีฤทธิ์ต่อการสัมผัสกับหนอนกระพู่ผักได้ดีมากกว่าสารสกัดหยาบจากราก ลำต้น และใบทางไหล และเมื่อใช้ 99% เอทานอลเป็นชุดควบคุม พบว่า ออกฤทธิ์ต่อวิธีการสัมผัสกับหนอนกระพู่ผักโดยมีผลทำให้หนอนกระพู่ผักมีอัตราการตายใน 7 วัน เป็น 20 % ไม่เข้าดักแด้ 20 % และไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัย 20 % ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสารสกัดหยาบจากราก ใบ ลำต้น ต้นทางไหลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อหนอนกระพู่ผัก

สารสกัดหยาบ	อัตราการตาย(%)				
	ความเข้มข้น (% w/v)	ตายภายใน 1 วัน	ตายภายใน 7 วัน	ไม่เข้าดักแด้	ไม่เป็นผีเสื้อ
ราก	0.5	0	0	0	30
	1	0	0	0	30
	4	0	10	0	30
	8	0	20	0	40
	10	0	40	40	80
ลำต้น	0.5	0	0	0	20
	1	0	0	0	30
	4	0	10	0	30
	8	0	20	20	40
	10	0	20	20	50
ใบ	0.5	0	0	0	10
	1	0	0	0	10
	4	0	10	10	20
	8	0	20	20	30
	10	0	30	30	60
control	-	0	20	20	20
positive	0.1 % v/v	50	70	70	70

เมื่อทำการเปรียบเทียบสารสกัดทางไหล กับสารฆ่าแมลงยูนิออก 40 ที่เป็น Positive พบว่า สาร Positive สามารถออกฤทธิ์ต่อวิธีการสัมผัสกับหนอนกระพู่ผักได้ดีที่สุด สำหรับสารสกัดจากรากทางไหล

ที่ความเข้มข้น 10% มีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ต่อวิธีการสัมผัสกับหนอนกระทู้ฝักได้ดีที่สุดเช่นกันเมื่อเทียบกับสารสกัดหยาบจากลำต้น และใบทางไหล และมีฤทธิ์ที่ต่ำกว่าชุดควบคุม จากการรายงานของ สาโรจ เจริญศักดิ์ และจรงค์ศักดิ์ พุ่มนวน (2550) พบว่า สารสกัดจากฝักซีลาว ฝักเพกา และฝักแฉ้วที่สกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้น 10% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของหนอนกระทู้ฝัก โดยทำให้หนอนกระทู้ฝักเติบโตและพัฒนาเป็นดักแด้ได้ 40% 33.3% และ 20% ตามลำดับ และสามารถทำให้ดักแด้หนอนกระทู้ฝักพัฒนาเป็นระยะตัวเต็มวัยได้ 40% 33.3% และ 20% ตามลำดับ และจากการทดลองของ จักรพงษ์ สุภาวรรณ และคณะ (2564) สารสกัดขมิ้นชันที่ทำการสกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้น 10% มีผลทำให้หนอนกระทู้ฝักตายภายใน 24 ชั่วโมง โดยมีอัตราการตายเท่ากับ 70% และเพิ่มสูงสุดวันที่ 3 คิดเป็น 83.33% รองลงมาเป็นสารสกัดจากสาบเสือที่ความเข้มข้น 10% มีอัตราการตายสูงสุดวันที่ 4 และสารสกัดจากสะเดาความเข้มข้น 10% มีอัตราการตายของหนอนกระทู้ฝักน้อยที่สุด จากผลการทดลอง พบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของดักแด้ที่สามารถจะเจริญเป็นตัวเต็มวัยที่ทำการทดสอบด้วยสารสกัดจากราก ลำต้น และใบของต้นทางไหลนั้นที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของตัวเต็มวัยที่พัฒนามาจากระยะดักแด้ลดลง แสดงว่า สารออกฤทธิ์ในต้นทางไหล คือ โรติโนน (อภิชัย เปรมาษฎีร์ และสมสุข ศรีจักรวาท, 2542) ที่มีอยู่ในสารสกัดจากรากของต้นทางไหลมีผลต่อกระบวนการการเข้าสู่ดักแด้ของตัวหนอนซึ่งเป็นสาเหตุที่ตัวหนอนตายเพราะไม่สามารถลอกคราบได้

LC₅₀ และ LC₉₀ ของสารสกัดหยาบจากราก ใบ ลำต้นของต้นทางไหล พบว่า สารสกัดหยาบจากรากของต้นทางไหลมีฤทธิ์ที่ดีที่สุดที่ทำให้หนอนกระทู้ฝักตายภายใน 7 วัน โดยมีค่า LC₅₀ และ LC₉₀ เท่ากับ 27.21 และ 40.37 ตามลำดับ รองลงมา คือ สารสกัดหยาบจากใบของต้นทางไหลโดยมีค่า LC₅₀ และ LC₉₀ เท่ากับ 30.03 และ 43.32 ตามลำดับ เมื่อนำสารสกัดหยาบจากต้นทางไหลมาทดสอบระยะไม่เข้าดักแด้ พบว่า สารสกัดหยาบจากรากของทางไหลมีฤทธิ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่า LC₅₀ และ LC₉₀ เท่ากับ 20.32 และ 40.11 ตามลำดับ รองลงมา คือ สารสกัดหยาบจากใบของต้นทางไหลโดยมีค่า LC₅₀ และ LC₉₀ เท่ากับ 23.16 และ 42.00 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบสารสกัดหยาบจากต้นทางไหลมาทดสอบระยะไม่เป็นผีเสื้อ พบว่า สารสกัดหยาบจากรากของทางไหลมีฤทธิ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่า LC₅₀ และ LC₉₀ เท่ากับ 18.65 และ 45.39 ตามลำดับ รองลงมา คือ สารสกัดหยาบจากใบของต้นทางไหลโดยมีค่า LC₅₀ และ LC₉₀ เท่ากับ 20.78 และ 48.92 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า LC₅₀ และ LC₉₀ ของสารสกัดหยาบจากราก ใบ ลำต้นของต้นทางไหลต่อหนอนกระทู้

สารสกัดหยาบ	ตายภายใน 7 วัน		ไม่เข้าดักแด้		ไม่เป็นผีเสื้อ	
	LC ₅₀ (mg/mL)	LC ₉₀ (mg/mL)	LC ₅₀ (mg/mL)	LC ₉₀ (mg/mL)	LC ₅₀ (mg/mL)	LC ₉₀ (mg/mL)
ราก	27.21	40.37	20.32	40.11	18.65	45.39
ใบ	30.03	43.32	23.16	42.00	20.78	48.92
ลำต้น	31.89	49.09	28.30	49.38	24.22	50.83

จากการศึกษาของ สุนทร พิพิธแสงจันทร์ และคณะ (2548) ที่ทำการทดสอบพิษโดยการสัมผัสต่อ หนอนกระทู้ฝักวัยที่ 2 3 และ 4 พบว่า สารสกัดหยาบเมลิ็ดสะเดาข้างที่สกัดด้วยเมทานอลมีฤทธิ์ที่สูงสุดในการทำให้หนอนกระทู้ฝักวัยที่ 2 3 และ 4 โดยมีค่า LC_{50} เป็น 5.26 8.83 และ 19.69 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเมลิ็ดสะเดาไทย ทำให้หนอนกระทู้ฝักวัยที่ 2 3 และ 4 โดยมีค่า LC_{50} เป็น 11.04 16.41 และ 22.68 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสอดคล้องกับงานวิจัยของจักรพงษ์ สุภาวะรณ์ และคณะ (2564) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสะเดาขมชั้น และสาบเสือต่อหนอนกระทู้ฝักวัยที่ LC_{50} และ LC_{90} (ความเข้มข้นของสารสกัดที่ทำให้แมลงตาย 50% และ 90%) ที่ 7 วัน ของสารสกัดจากใบสะเดา เท่ากับ 24.55% และ 49.50% สารสกัดจากขมชั้นเท่ากับ 5.66% และ 11.36% สารสกัดจากสาบเสือเท่ากับ 6.92% และ 18.90% โดยประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบแต่ละชนิดในการกำจัดหนอนกระทู้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายใน และองค์ประกอบทางสิ่งแวดล้อมที่เพาะปลูกในช่วงเวลานั้น

ผลการทดสอบความเป็นพิษโดยวิธีการกิน

จากการทดสอบความเป็นพิษโดยวิธีการกินของหนอนกระทู้ฝักด้วยสารสกัดหยาบจากทางไหลจากราก ใบ ลำต้น ซึ่งสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล พบว่า สารสกัดหยาบจากรากทางไหลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินของหนอนกระทู้ฝักในปริมาณสูง มีค่า Percent antifeedant index (% AFI) เท่ากับ 16.22 ± 5.07 สารสกัดหยาบจากใบทางไหลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนกระทู้ฝัก มีค่า % AFI เท่ากับ 20.56 ± 2.76 และ สารสกัดหยาบจากลำต้นทางไหลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนกระทู้ฝัก มีค่า % AFI เท่ากับ 21.35 ± 3.91 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการกินของสารสกัดหยาบจากทางไหลจากราก ใบ ลำต้น ที่ความเข้มข้น 10 % w/v ซึ่งสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อหนอนกระทู้ฝัก

สารสกัดหยาบ	%AFI
ราก	16.22 ± 5.07^a
ใบ	20.56 ± 2.76^a
ลำต้น	21.35 ± 3.91^a

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กเหมือนกัน และไม่มีเครื่องหมายต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สารออกฤทธิ์ในต้นทางไหล คือ โรติโนน (อภิชัย เปรมัชเชียร และสมสุข ศรีจักรวาท, 2542) ซึ่งโรติโนนสามารถพบมากในส่วนที่เป็นราก ปริมาณของโรติโนนจะขึ้นอยู่กับอายุของต้นทางไหล (สุขสม และคณะ, 2536) จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากพืชที่ได้รับการศึกษาถึงคุณสมบัติในการเป็นสารฆ่าแมลงนั้น สารสกัดจากพืชจะพบว่า มีทั้งส่วนที่มีความเป็นพิษโดยตรง การยับยั้งการกิน การยึดระยะเวลาการเจริญเติบโต

และเป็นหมัน (Cheraghi et al., 2016) และจากการศึกษาการสกัดทางไหลจากส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ใบ ลำต้น โดยสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ 95% เอทานอล เมื่อนำมาทำการทดสอบความเป็นพิษโดยการสัมผัสจากส่วนต่าง ๆ ของต้นทางไหล ที่ทดสอบหลังจากทดสอบ 7 วัน พบว่า อัตราการตายของหนอนกระทู้ผักตายสูงสุดที่ความเข้มข้น 10 % w/v และเมื่อนำส่วนสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของทางไหลมาทดสอบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สารสกัดหยาบจากรากทางไหลที่ความเข้มข้น 10% w/v มีแนวโน้มออกฤทธิ์ต่อการสัมผัสกับหนอนกระทู้ผักสูงสุด โดยมีผลทำให้หนอนกระทู้ผักมีอัตราการตายใน 7 วัน มีอัตราการตายเป็น 40 % ไม่เข้าดักแด้ 40% และไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัย 80% สารสกัดหยาบจากรากต้นทางไหลที่ความเข้มข้น 10% w/v มีผลทำให้หนอนกระทู้ผักมีอัตราการตายใน 7 วัน เป็น 20% ไม่เข้าดักแด้ 20% และไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัย 50% และสารสกัดหยาบจากใบทางไหลที่ความเข้มข้น 10% w/v ออกฤทธิ์ต่อการสัมผัสกับหนอนกระทู้ผักโดยมีอัตราการตายภายใน 7 วันเป็น 30 % ไม่เข้าดักแด้ 30% และไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัย 60% แสดงให้เห็นว่า สารสกัดหยาบจากใบทางไหลมีฤทธิ์ต่อวิธีการสัมผัสกับหนอนกระทู้ผักได้ดี เนื่องจากสารสกัดที่เตรียมมีความเข้มข้นสูง สารสำคัญสารโรติโนนที่อยู่ในสารสกัดหยาบทั้งราก ลำต้น และใบ มีผลทำให้สามารถเข้าซึมสู่ผิวหนังของหนอนกระทู้ผักได้ (Ware, 1983) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารโรติโนนมีฤทธิ์ขัดขวางไม่สามารถเข้าดักแด้ และไม่เจริญเป็นตัวเต็มวัย รวมทั้งทำให้หนอนกระทู้ไม่สามารถกินอาหารได้ และค่อย ๆ ตายลง เนื่องจากสารโรติโนนมีฤทธิ์ไปขัดขวางขบวนการหายใจของเซลล์ของแมลง (Ware, 1983 ; สมบูรณ์ แสงมณีเดช และคณะ, 2548) และจากการศึกษาของ วาสนา สอนเพ็ง และคณะ (2552) ที่ทำการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดหนอนตายหยากต่อหนอนกระทู้ผักโดยวิธีให้กินใบพืชที่จุ่มสารสกัด พบว่า สารสกัดหยาบไคโคลโรมีเทนแสดงความเป็นพิษสูงสุด โดยที่ที่ระดับความเข้มข้น 40,000 ppm มีอัตราการตาย 46% ส่วนสารสกัดที่มีพิษรองลงมา คือ สารสกัดหยาบเฮกเซน เมทานอล 70% นอกจากนี้ สุขสม ศรีจักรวาท และคณะ (2536) รายงานว่า เมื่อทำการสกัดสารจากรากทางไหลแห้ง และสด แช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง สามารถที่จะกำจัดลูกน้ำยุงได้ดีที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดลูกน้ำยุงในระดับปานกลางที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร สารสกัดจากรากทางไหลแห้งสามารถที่จะกำจัดลูกน้ำยุงได้ 80-90% ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ขณะที่สารสกัดจากรากทางไหลสดสามารถกำจัดลูกน้ำยุงได้ 100% ภายในเวลา 3 ชั่วโมง และเมื่อนำสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ มาทำการทดสอบการยับยั้งการกินอาหารของหนอนกระทู้ผัก โดยดูค่า Percent antifeedant index (%AFI) ค่า Index นั้น Escoubas et al. (1993) กำหนดเกณฑ์การตัดสินพืชที่มีฤทธิ์ยับยั้งการกินอาหารที่มีค่า AFI น้อยกว่า 20 แสดงว่า มีศักยภาพในการยับยั้งการกินสูงสุด จากการทดลอง พบว่า สารสกัดหยาบจากรากทางไหลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนกระทู้ผักในปริมาณสูงมีค่า %AFI เท่ากับ 16.22 สารสกัดหยาบจากใบทางไหลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนกระทู้ผัก มีค่า %AFI เท่ากับ 20.56 และสารสกัดหยาบจากรากต้นทางไหลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการกินอาหารของหนอนกระทู้ผัก มีค่า %AFI เท่ากับ 21.35 เนื่องจาก

สารโรติโนนในส่วนต่าง ๆ ของต้นทางไหลมีความเป็นพิษต่อสัตว์ รวมทั้งสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และปลา โดยมีพิษเฉียบพลันทางปาก ค่อนข้างสูง กลไกการออกฤทธิ์ คือ ฤทธิ์จะไปกดศูนย์ประสาทที่ควบคุมการหายใจ ทำให้หายใจไม่ออก หัวใจเต้นช้าลง ทำให้ขาดออกซิเจน เป็นอัมพาต และอาจตายได้ และผู้ใช้อาจก่อให้เกิดอาการแพ้เป็นผื่นแดงบริเวณผิวหนังได้เมื่อสัมผัสต้นทางไหล (อารมณั์ แสงวนิชย์ และอุดมลักษณ์ อุณจิตต์วรธนะ, 2542; สุเทพ สหยา และลักขณา บำรุงศรี, 2546) สำหรับการนำสารสกัดจากต้นทางไหลควรใช้สารสกัดให้หมดภายใน 1-2 วัน เนื่องจากเสื่อมสลายได้ง่าย สารโรติโนนในรูปของรากทางไหลแห้งสามารถเก็บไว้ใช้ได้ยาวนานกว่าในรูปรากสด หรือสารที่สกัดออกมาโดยตรง (สมบุรณ์ แสงมณีเดช และคณะ, 2548) กลไกการมีพิษระดับเซลล์พบว่า สารโรติโนนออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการหายใจโดยมีผลต่อ NADH และ Coenzyme Q ซึ่ง NADH เป็น Coenzyme ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ส่วน Coenzyme Q ใช้ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ โรติโนนจะเป็นตัวยับยั้ง NADH dehydrogenase ที่อยู่ใน Complex I ของการขนส่งอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนจาก NADH ไม่สามารถเข้าสู่ Electron transport chain ส่งผลให้การสร้าง ATP จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ NADH ลดน้อยลง และนอกจากนี้สารโรติโนนยังมีผลยับยั้งการขนส่งอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรีย ทำให้การหายใจเซลล์ถูกยับยั้งไปด้วย ทำให้ร่างกายเชื้อช้าลง ไม่กระฉับกระเฉง และระบบการทำงานต่าง ๆ จะหยุดชะงัก และตายในที่สุด (Moon et al., 2005)

สรุป

ผลจากการศึกษาสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆของต้นทางไหลได้แก่ ใบ ลำต้น และราก ในการกำจัดหนอนกระทู้ผักโดยการสัมผัส และการยับยั้งการกินอาหารของหนอนกระทู้ผัก เมื่อทำการสกัดด้วยเอทานอลได้สารสกัดหยาบเอทานอลส่วนรากมากที่สุดคือ ใบ และลำต้นของต้นทางไหล และนำสารสกัดหยาบจากรากที่ความเข้มข้น 10% w/v โดยทำการทดสอบการสัมผัสสารสกัดหยาบจากรากของต้นทางไหล สามารถที่จะกำจัดหนอนกระทู้ผักได้ดี นอกจากนี้เมื่อทำการทดสอบการกินของหนอนกระทู้ผัก พบว่า สารสกัดหยาบจากรากของต้นทางไหลที่ความเข้มข้น 10% w/v ทำให้หนอนกระทู้ผักมีอัตราการตายใน 7 วัน ไม่สามารถเข้าสู่ระยะดักแด้ได้ และไม่สามารถที่จะเจริญเป็นตัวเต็มวัยได้ อย่างไรก็ตามสารสกัดหยาบจากใบ และลำต้น สามารถที่จะกำจัดหนอนกระทู้ผักได้ แต่อาจจะใช้เวลานานมากกว่า 7 วัน เนื่องจากทั้งใบ ลำต้นของต้นทางไหลมีสารสำคัญที่สามารถยับยั้งการกินของหนอนกระทู้ผักได้ คือ สารโรติโนน สำหรับแนวทางในการฉีดพ่นให้สัมผัสกับตัวหนอนโดยตรงจะมีประสิทธิภาพที่ดี จึงสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้กำจัดหนอนกระทู้ผักได้อย่างดี

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้จะสามารถพัฒนาสารสกัดจากราก ใบ และ ลำต้นทางไหล เพื่อใช้ในแปลงเกษตรกรต่อไปได้ นำไปสู่เกษตรทางเลือกที่ปลอดภัยทั้งสิ่งแวดล้อม เกษตรกร และผู้บริโภคต่อไป ในการพัฒนาการวิจัยควรมีการศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กุลชาติ บุรณะ, และประกายจันทร์ นิ่มกิ่งรัตน์. (2563). พฤติกรรมการใช้สารฆ่าแมลงเพื่อควบคุมแมลงศัตรูดาวเรืองของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นและมหาสารคาม. *วารสารแก่นเกษตร*, 48(4), 715-726.
- จักรพงษ์ สุภาวรณ, ดาวพระศุกร์ เอกชัยวีรกุล, ศราวดี แสนศรี, และณัฐดนัย ลิขิตระการ. (2564). ความเป็นพิษของสารสกัดหยาบจากพืชที่มีผลต่อหนอนกระทู้ผัก (*Spodoptera litura* Fabricius). *วารสารผลิตภัณฑ์เกษตร*, 3(1), 1-11.
- วาสนา สอนเพ็ง, สุภาณี พิมพ์สมาน, และฉันทนา อารมณดี. (2552). ฤทธิ์ฆ่าแมลงของสารสกัดจากหนอนตายหยาก (*Stemona tuberosa* Lour). *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 14(2), 112-122.
- สมบูรณ์ แสงมณีเดช, ขวัญเกศ กนิษฐานนท์, ตรองรัก บุญเต็ม, ทศพล จุฬาลักษณ์านุกูล, ทินกร แสงงาม, ทิพย์วรรณ สอนง่ายดี, และธนิดา วงศ์คำ. (2547). ประสิทธิภาพของรากทางไหลสดและสารสกัดในการควบคุมลูกน้ำยุง. *วารสารสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 14(1), 87-93.
- สมบูรณ์ แสงมณีเดช, ขวัญเกศ กนิษฐานนท์, พิทยา ภาภิรมย์, และธานี เทศศิริ. (2548). การใช้พืชสมุนไพร (ทางไหล) ควบคุมประชากรหนอนแมลงวันและการประยุกต์ใช้รักษาภาวะไม่เอื้อชีสผิวหนังในสัตว์. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 10(1), 22-30.
- สาโรจ เจริญศักดิ์, และจรงค์ศักดิ์ พุ่มนวน. (2550). ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรพื้นบ้านของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในการควบคุมหนอนกระทู้ผัก *Spodoptera litula* (F.). รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- สุขสม ศรีจักรวาท, อรุณช เกษประเสริฐ, ปราโมทย์ เกิดศิริ, และนพรัตน์ หยัดจันทร์. (2536). การเจริญเติบโตและปริมาณสารพิษในต้นทางไหล (ไล่ตีน) เมื่ออายุต่างๆกัน. รายงานการสัมมนาการใช้สารจากพืชเพื่อป้องกัน กำจัดศัตรูทางการเกษตร. ขอนแก่นการพิมพ์. (หน้า 25-35).
- สุเทพ สหยา, และลักขณา บำรุงศรี. (2546). โรติโนนสารสกัดจากพืชที่มีต่อแมลง. *วารสารกัญและสัตววิทยา*, 25(4), 295-298.

- สุภาณี พิมพ์สมาน, รัตนาภรณ์ พรหมศรีธา, และสังวาล สมบูรณ์. (2546). สารสกัดจากหนอนตายอยาก (*Stemona sp.*) เพื่อการควบคุมแมลงศัตรูพืช. การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติครั้งที่ 6 โรงแรมโซฟิเทลราชาออดิตขอนแก่น วันที่ 24-27 พฤศจิกายน 2546. (หน้า 22).
- อภิชัย เปรมษ์เสีเยอร์, และสมสุข ศรีจักรวาท. (2542). โล่ดินหรือหางไหล สมุนไพรพื้นบ้านในการกำจัดแมลงที่ น่าสนใจ(2). *วารสารเคหการเกษตร*, 23(7), 156-158.
- อารมณั แสงวนิชย์, และอุดมลักษณ์ อุ่นจิตต์วรธนะ. (2542). โล่ดินหรือหางไหล สมุนไพรพื้นบ้านในการกำจัดแมลงที่น่าสนใจ. *วารสารเคหการเกษตร*, 23(7), 184-188.
- Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal Economic Entomology*, 18(2), 265-267.
- Bomford, M.K., & Isman M.B. (1996). Desensitization of fifth instar *Spodoptera litura* (Lepidoptera Noctuidae) to azadirachtin and neem. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 81, 307-313.
- Cheraghi, N.M., Farzaei, M.H., Razkenari, E.K., Aamin, G., Khanavi, M., Akbarzadeh, T. & Shams-Ardekani, M.R. (2016). An evidence-based review on medicinal plants used as insecticide and insect repellent in traditional Iranian medicine An Evidence-Based Review on Medicinal Plants Used as Insecticide and Insect Repellent in Traditional Iranian Medicine. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 18(2), 1-8.
- Dey, K.R., Choudhury, P., & Dutta, B.K. (2013). Impact of pesticide use on the health of farmers: A study in Barak Valley, Assam (India). *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5, 269-277.
- Escoubas P., Lajide, L., & Mitzutani, J. (1993). An improved leaf-disk antifeedant bioassay and its application for the screening of Hokkaido plants. *Entomological Experimentalis et Applicata*. 66(2), 99-107.
- Huang, Y. H., Ho, S. H., Lee, H.C., & Yap, Y.L. (2002). Insecticidal properties of eugenol, isoeugenol and methyleugenol and their effects on nutrition of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 38, 403-412.

- Hummelbrunner, L.A., & Isman, M.B. (2001). Acute, sublethal, antifeedant, and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 49, 715-720.
- Moon, Y., Lee, K.H., Park, J.H., Geum, D., & Kim, K. (2005). Mitochondrial membrane depolarization and the selective death of dopaminergic neurons by rotenone: protective effect of coenzyme Q10. **Journal Neurochemistry**, 93(5), 1199-1208.
- Ware, G.W. (1983). **Pesticides: theory and application**. WH Freeman & Co. New York. (pp 53).

ผลของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ชนิดบรรจุภัณฑ์ และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อคุณภาพ หลังการเก็บเกี่ยวของผักน้ำเบตง

ณัฐพงศ์ จันจุฬา¹ ภาสุรี ฤทธิเลิศ^{2*}

Received : November 13, 2023

Revised : September 23, 2024

Accepted : October 22, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักน้ำเบตง (*Nasturtium officinale* W.T. Aiton) รวมทั้งบรรจุภัณฑ์ วิธีการบรรจุ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของผักน้ำที่เหมาะสม เบื้องต้นมีการศึกษาวิธีการล้างผักน้ำด้วยการจุ่มแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite 6% w/w, Clorox) 1, 1.5 และ 2% w/v เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา เป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาที ผลการทดลอง พบว่า การใช้ Clorox 1% w/v นาน 10 นาที สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการล้างด้วยน้ำประปา การใช้ Clorox ทุกความเข้มข้นไม่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ โดยการล้างด้วยน้ำประปานาน 10 นาที ถูกคัดเลือกใช้ในการเตรียมผักน้ำหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อบรรจุในถุงพลาสติก 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และถุงหายใจได้ Active PAKTM (AP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน พบว่า การใช้ถุง PP เปรียบเทียบกับถุง AP ที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) แต่การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และเก็บรักษาได้นานเพียง 2 วัน เมื่อจำลองสถานะขนส่งทางไกลโดยการบรรจุผักน้ำในกล่อง 2 ชนิด ได้แก่ กล่องกระดาษ (กล่องโปรเซสซี) และกล่องโฟม ร่วมกับน้ำแข็ง แล้วนำผักน้ำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ พบว่า การขนส่งผักน้ำด้วยการบรรจุในกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง ทำให้เมื่อนำผักน้ำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ ผักน้ำคงความสดและมีสีเขียวในระดับคะแนนเท่ากับ 3 คะแนน ซึ่งยอมรับได้และสามารถซื้อขายได้นาน 6 วัน

คำสำคัญ: โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ถุงพลาสติก บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง ผักน้ำเบตง อุณหภูมิเก็บรักษา

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยและวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย

อีเมล: Nattapong@tistr.or.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

อีเมล: pasuree@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: pasuree@vru.ac.th

EFFECTS OF SODIUM HYPOCHLORITE SOLUTION, PACKAGING TYPES, AND STORAGE TEMPERATURES ON THE QUALITY OF 'BETONG' WATERCRESS

Nuttapong Chanchula^{1*} Pasuree Rittilert²

Abstract

This research aimed to study the efficacy of sodium hypochlorite solution in reducing the total microbial count of Betong watercress (*Nasturtium officinale* W.T. Aiton), including packaging, packing methods, and storage at different temperatures to be a guideline for proper postharvest of the watercress. Initially, the study focused on optimizing the washing process by soaking the watercress in sodium hypochlorite (6% w/w Clorox) at concentrations of 1%, 1.5%, and 2% w/v, and comparing these treatments to washing with tap water for durations of 1, 5, and 10 minutes. The experimental results indicated that soaking Betong watercress in 1% w/v Clorox for 10 minutes reduced the total microbial counts; however, the reduction was not statistically significant ($p>0.05$) compared to washing with tap water. This suggests that Clorox, at all tested concentrations, was unable to completely eliminate microorganisms. Therefore, washing with tap water for 10 minutes was selected as the preparation method for postharvest watercress. The watercress was then packed in two types of plastic bags: a polypropylene (PP) bag and a breathable bag (Active PAK™ or AP) and stored at temperatures of $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ and $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 6 days. The results showed that using a PP bag, compared to an AP bag at $12\pm 2^{\circ}\text{C}$, effectively delayed changes in overall color difference (ΔE^*), although there was no significant difference in microbial growth ($p>0.05$). Under these conditions, the watercress could be stored for up to 2 days. To simulate long-distance transportation, watercress was packed in two types of containers: a paper (postal) box and a foam box with ice, followed by storage at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ and $5\pm 2^{\circ}\text{C}$. It was found that transporting the watercress in a foam box with ice and storing it at $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ allowed the watercress to maintain its freshness, with a green score of 3 points, which is considered acceptable for sale for up to 6 days.

Keywords: Sodium hypochlorite, Plastic bag, Transportation package, Betong watercress, Storage temperature

¹ Assistant Professor Dr., Expert Center of Innovative Agriculture (InnoAg), Thailand Institute of Science and Technology Research Technology, e-mail: Nuttapong@tistr.or.th

² Assistant Professor, Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: pasuree@vru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: pasuree@vru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการรับประทานพืชผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงส่งผลให้ผู้บริโภคนิยมเลือกซื้อผักปลอดสารพิษและผักอินทรีย์มากขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งนอกจากจะปลอดภัยจากสารพิษตกค้างแล้วยังนำรับประทานอีกด้วย การจัดการพืชผักภายหลังการเก็บเกี่ยวที่มีประสิทธิภาพตั้งแต่ขั้นตอนการล้าง การใช้บรรจุภัณฑ์ การบรรจุเพื่อการขนส่ง รวมถึงการจัดการอุณหภูมิที่เหมาะสมมีผลต่อคุณภาพผลผลิตเมื่อถึงมือผู้บริโภค

ผักน้ำเบตง (Betong watercress) เป็นพืชประจำถิ่นที่พบมากในอำเภอเบตง จังหวัดยะลา จัดอยู่ในวงศ์ Brassicaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nasturtium officinale* W.T. Aiton เพาะปลูกในน้ำ ลำต้นมีสีเขียว ลักษณะลำต้นเป็นข้อและปล้อง มีรากเกิดที่ข้อทุกข้อ ใบประกอบมี 5-7 ใบ ต่อ 1 ก้าน นิยมนำมาบริโภคสดและประกอบอาหารเมนูผัดและแกงจืด ซึ่งผักน้ำเป็นแหล่งของวิตามิน แร่ธาตุ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ เช่น วิตามินบี วิตามินอี วิตามินซี สารกลูโคซิโนเลต ไอโซไทโอไซยาเนต และสารโพลีฟีนอล สารสำคัญหลายชนิดนี้มีประโยชน์ในการป้องกันปัญหาสุขภาพต่าง ๆ เช่น สามารถป้องกันมะเร็งปอดในคนที่สูบบุหรี่ (เบญจมาศ จันทร์ฉวี และคณะ, 2556; Hecht et al., 1995; Klimek-Szczykutowicz et al., 2018) ผักน้ำเบตงเป็นพืชที่มีลักษณะลำต้นเลื้อยคล้ายผักบุ้ง เกษตรกรเก็บเกี่ยวผักน้ำเมื่อมีลำต้นยาว 30-40 เซนติเมตร โดยใช้มีดคม ๆ ตัดยอดที่เหนือระดับน้ำขึ้นมา ตัดส่วนยอดยาวประมาณ 30 เซนติเมตร นำมาล้างน้ำ แล้วนำมามัดเพื่อจำหน่าย ผู้บริโภคจะนิยมนำผักด้วยวิธีการใช้น้ำประปา ก่อนนำไปบริโภค การใช้น้ำในการล้างและกำจัดสิ่งสกปรกที่ผิวผักจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเพราะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ผิว ส่วนในภาคอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำผสมคลอรีนในการล้างผักสด คลอรีนที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite, NaClO) (Gu et al., 2023) นิยมใช้ระดับความเข้มข้นช่วง 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-2 นาที (Beuchat, 2000) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Clorox มีราคาถูกกว่าสารฆ่าเชื้อประเภทอื่น หาง่าย สะดวกในการเตรียมและการนำไปใช้งาน ซึ่งคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration, U.S. FDA) อนุญาตให้ใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร โดยกำหนดให้มีปริมาณคลอรีนอิสระ (Free chlorine) ได้ไม่เกิน 200 ppm (Wiley & Yildiz, 1994) และตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 412) พ.ศ. 2562 อนุญาตให้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผักและผลไม้ได้ โดยกำหนดให้มีปริมาณคลอรีนอิสระสูงสุดเมื่อเตรียมในสภาพพร้อมใช้งานเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ปริมาณคลอรีนอิสระตกค้างในอาหารต้องมีความเข้มข้นระหว่าง 50 ถึง 300 ppm (Rico et al., 2007) แต่การใช้ในปริมาณมากและมีความเข้มข้นสูงทำให้เกิดสารตกค้างจากการทำปฏิกิริยาของคลอรีนกับสารอินทรีย์ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในผัก เกิดเป็นสารประกอบไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) และกรดฮาโลแอซิดิก (Haloacetic acids) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (Artés et al., 2009) ดังนั้นหลาย ๆ งานวิจัยจึงมุ่งเน้นการหาสารฆ่าเชื้อทางเลือกเพื่อความปลอดภัยของผลผลิต การผลิตสินค้าเกษตรของไทยจำเป็นต้องพัฒนาคุณภาพ มาตรฐานสินค้าเกษตรด้านพืชให้เทียบเท่ามาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับ โดยส่งเสริมให้เกษตรกร ลด ละ เลิก การใช้สารเคมี และมีการผลิตพืชตามระบบการจัดการคุณภาพหลักปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2555) อย่างไรก็ตาม

การรักษาคุณภาพของผักหลังการเก็บเกี่ยวนอกจากการใช้สารเคมีแล้วยังสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และการใช้สภาพบรรยากาศควบคุมและตัดแปลงโดยใช้ฟิล์มพลาสติก เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลของการล้างผักน้ำเบตงด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปาในครัวเรือนต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด การใช้บรรจุภัณฑ์ วิธีการบรรจุ และอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผักน้ำเบตง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาและการประยุกต์ใช้ในการจัดการก่อนการขนส่งไปสู่ตลาดและการวางจำหน่ายไปจนถึงมือผู้บริโภค ตลอดจนเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์พันธุ์พืชท้องถิ่นให้มีการปลูกผักน้ำเบตงเป็นอาชีพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการล้างผักน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์เปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปาในระดับครัวเรือนต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด
2. เพื่อศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผักน้ำต่อคุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ของผักน้ำระหว่างเก็บรักษา
3. เพื่อศึกษาวิธีบรรจุผักน้ำที่ใช้ในการขนส่งและคุณภาพทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการขนส่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แหล่งที่มาและการเตรียมตัวอย่างผักน้ำ

ผักน้ำที่ใช้ในการทดลองเก็บเกี่ยวจากอำเภอเบตง จังหวัดยะลา แล้วขนส่งโดยรถควบคุมอุณหภูมิมายังห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ภายในระยะเวลา 28 ชั่วโมง จากนั้นทำความสะอาดผักน้ำโดยการล้างด้วยน้ำประปา เพื่อนำไปใช้ในการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ต่อไป

2. การศึกษาผลของการล้างผักน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์เปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปาในระดับครัวเรือนต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

นำผักน้ำในข้อที่ 1 มาคัดคุณภาพผักน้ำอีกครั้ง แล้วแช่ลงในสารฆ่าเชื้อโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium hypochlorite 6% w/w; Clorox) กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0, 1, 1.5 และ 2% w/v และระยะเวลาในการแช่ 3 ระดับ คือ 1, 5 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง 25°C เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่จุ่มแช่ล้างในน้ำประปา อัตราส่วนผักน้ำต่อน้ำยาฆ่าเชื้อเท่ากับ 1 กิโลกรัม : 10 ลิตร โดยภายหลังการแช่ลงใน Clorox ดังกล่าว ปล่อยให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 10 นาที สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธี pour plate ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) ตามวิธีของ AOAC (2000) บ่มที่อุณหภูมิ 35±1°C นาน 48 ชั่วโมง คำนวณจำนวนจุลินทรีย์เป็น Log colony forming unit/gram (log CFU/g) เพื่อคัดเลือกไปศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบรรจุและการเก็บรักษา

3. การศึกษาชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุผักน้ำต่อคุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ของผักน้ำระหว่างการเก็บรักษา

คัดเลือกวิธีการล้างผักน้ำที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 มาศึกษาชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษา กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย โดยบรรจุผักน้ำลงในถุงพลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และถุงหายใจได้ Active PAK™ (AP) ที่มีขนาด 9x18 นิ้ว ขนาดบรรจุ 100 กรัมต่อ 1 ถูกรัดปากถุงด้วยยาง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 42% และอุณหภูมิตู้แช่เย็น $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 52% ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทุก ๆ 2 วัน จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษาหรือจนกว่าผักน้ำจะเกิดการเน่าเสีย ใช้เกณฑ์การประเมินลักษณะปรากฏ โดยกำหนดให้ผักน้ำหมดอายุการเก็บรักษาเมื่อมีคะแนนความสดและการเกิดสีเหลืองต่ำกว่า 2 คะแนน จะบ่งบอกว่าผู้ประเมินไม่ยอมรับไม่สามารถซื้อขายได้ การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

วัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Ultrascan VIS (HunterLab, USA) ในระบบ CIE L*, a* และ b* โดยค่า L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) a* เป็น ค่าสีแดงและเขียว (Redness/Greenness) และ b* เป็นค่าสีเหลืองและน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) โดยสุ่มตัวอย่างผักน้ำในแต่ละสิ่งทดลอง ๆ ละ 50 กรัม ทำการวัด 10 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

ค่า ΔE^* เป็นค่าความแตกต่างสีโดยรวมที่เปลี่ยนไปจากวันแรกที่ทำกรเก็บรักษา โดยเก็บข้อมูลค่า L*, a* และ b* ที่วัดจากเครื่องวัดสีในแต่ละตัวอย่างโดยวัดค่าสีเริ่มต้นและภายหลังการเปลี่ยนแปลงที่เวลาต่างๆ ในการเก็บรักษา จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ดังสมการ

$$\Delta E^* = [(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2]^{1/2}$$

โดยที่	ΔE^*	= ความแตกต่างสีโดยรวม
	L^*_0, L^*	= ค่าความสว่างของตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บรักษา
	a^*_0, a^*	= ค่าความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บรักษา
	b^*_0, b^*	= ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บรักษา

ความสดและการเกิดสีเหลือง

ประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อความสดและการเกิดสีเหลืองของผักน้ำ โดยผู้บริโภคนจำนวน 10 คน ตามวิธีการของเบญจมาศ กรสงแก้ว (2549) ประเมินโดยการให้คะแนนลักษณะปรากฏ ดังนี้ คะแนน 5 หมายถึง ตัวอย่างมีความสดมาก ไม่มีความเสียหาย, คะแนน 4 หมายถึง ตัวอย่างมีความสด, คะแนน 3 หมายถึง ตัวอย่างยอมรับได้ สามารถซื้อขายได้, คะแนน 2 หมายถึง ตัวอย่างรับประทานได้ แต่ขายไม่ได้ และคะแนน 1 หมายถึง ตัวอย่างไม่สามารถนำมาบริโภคได้ และประเมินลักษณะปรากฏการเกิดสีเหลือง ดังนี้ คะแนน 5 หมายถึง ตัวอย่างมีสีเขียวสด, คะแนน 4 หมายถึง ตัวอย่างมีสีเขียว, คะแนน 3 หมายถึง ตัวอย่างเริ่มเหลือง, คะแนน 2 หมายถึง ตัวอย่างเหลืองน้อยกว่า 50% ของปริมาณการบรรจุทั้งหมด และคะแนน 1 หมายถึง ตัวอย่างเหลืองมากกว่า 50% ของปริมาณการบรรจุทั้งหมด

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี Pour plate ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) ตามวิธีของ AOAC (2000) บ่มที่อุณหภูมิ $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 48 ชั่วโมง คำนวณจำนวนจุลินทรีย์เป็น Log colony forming unit/gram (log CFU/g)

4. การศึกษาวิธีบรรจุผักนํ้าที่ใช้ในการขนส่งและคุณภาพทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการขนส่ง

นำผักนํ้าที่ผ่านการล้างด้วยวิธีที่เหมาะสมในข้อ 2 และถุงพลาสติกที่เหมาะสมในข้อ 3 มาใช้บรรจุผักนํ้า โดยห่อด้วยกระดาษสำหรับห่อสินค้า แล้วบรรจุลงในถุงจำนวนถุงละ 1 กิโลกรัม จากนั้นบรรจุลงในกล่องสำหรับขนส่งทางไกล 2 ชนิด ได้แก่ แบบกล่องกระดาษ (กล่องโปรซันนิย) และกล่องโฟมร่วมกับนํ้าแข็ง กำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1) บรรจุผักนํ้าลงในกล่องกระดาษ (กล่องโปรซันนิย) แล้วปิดกล่องด้วยเทปกาว และปัจจัยที่ 2) บรรจุผักนํ้าลงในกล่องโฟมที่มีถุงนํ้าแข็งปริมาณ 30% ของความจุของกล่องโฟม จัดวางถุงนํ้าแข็งก่อนเรียงถุงบรรจุผักนํ้า แล้วปิดฝาพร้อมด้วยติดเทปกาวระหว่างฝาและตัวกล่องโฟมให้สนิท ทั้งสองรูปแบบทำการขนส่งโดยรถควบคุมอุณหภูมิของบริษัท Inter Express Logistics มายังห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ภายใน 28 ชั่วโมง จากนั้นนำผักนํ้าออกจากกล่องมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บรักษา 42% และอุณหภูมิตู้เย็นที่ใช้ตามบ้าน $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 85% ทำการบันทึกผลการทดลองทุก ๆ 2 วัน วัดค่าสี L^* , a^* , b^* และการยอมรับของผู้บริโภคโดยการให้คะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองจนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษาหรือจนกว่าผักนํ้าจะเกิดการเน่าเสีย โดยมีคะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองของผักอยู่ในระดับที่ไม่สามารถซื้อขายได้

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

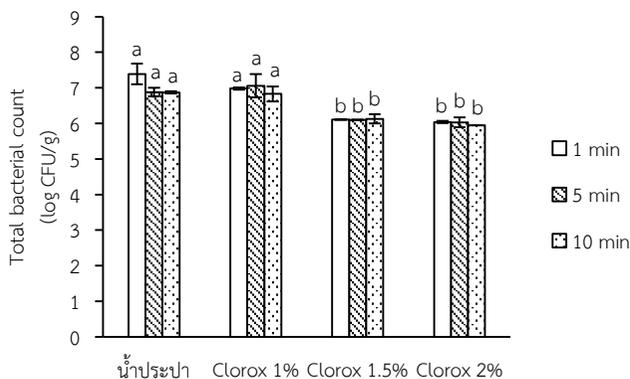
ออกแบบการทดลองโดยจัดสิ่งทดลองแบบ Factorial in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ของข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 23 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของการล้างผักนํ้าเบตงด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เปรียบเทียบกับการล้างด้วยนํ้าประปาในระดับครัวเรือนต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากผลการทดลอง พบว่า การล้างผักนํ้าด้วยการจุ่มแช่ในนํ้าประปา (ชุดควบคุม) เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ช่วยลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักนํ้าได้ (เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น $7.39 \log \text{CFU/g}$ ที่เวลาการแช่นํ้าประปานาน 1 นาที) ผลการจุ่มแช่ล้างนํ้าประปานาน 5-10 นาที ลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 1% w/v ที่เวลา 1-10 นาที แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการจุ่มแช่สารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2% w/v การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์รวมตัวกับนํ้าทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ทำให้สารละลายคลอรีนอยู่ในรูปของ Hypochlorous acid (HClO) แตกตัวเป็น Hydrogen ions (H^+) และ Hypochlorite ions (OCl^-) มีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ จึงสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Zhang et

al. (2023) รายงานว่าการจุ่มแช่แต่งกวาดัดแต่งในสารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 50-100 ppm นาน 5 นาที พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงเมื่อใช้ Clorox ที่ความเข้มข้นสูง และงานวิจัยของ de São José & Vanetti (2015) พบว่า การจุ่มผักน้ำและผักซีฝรั่งลงในสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ 10 mg/L นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ สามารถลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ ยีสต์และรา ลงได้ 1.3 และ 1.0 log CFU/g ตามลำดับ ของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (10^6 CFU/g และ 10^5 CFU/g ตามลำดับ) การศึกษาครั้งนี้ การจุ่มแช่ผักน้ำในสารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2% w/v มีอิทธิพลต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ลดลงมากเมื่อความเข้มข้นสูง เช่น แช่นาน 1 นาที มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.98, 6.11 และ 6.04 log CFU/g ตามลำดับ แช่นาน 10 นาที มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.83, 6.13 และ 5.95 log CFU/g ตามลำดับ แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของ Clorox และเวลาในการแช่ผักน้ำ อย่างไรก็ตามการล้างผักน้ำด้วยน้ำประปาและการใช้สารละลาย Clorox ที่ความเข้มข้น 1 และ 1.5% w/v และเวลาในการจุ่มแช่นาน 1, 5 และ 10 นาที ไม่สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดให้อยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพด้านจุลินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560) ให้มีปริมาณไม่เกิน 1×10^6 CFU/g หรือน้อยกว่า 6 log CFU/g ได้ (สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร, 2560) ถึงแม้ว่าการใช้ Clorox ความเข้มข้น 2% w/v นาน 10 นาที จะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแต่ทำให้ผักน้ำมีกลิ่นคลอรีนตกค้าง ดังนั้นผลการทดลองนี้การล้างผักน้ำด้วยน้ำประปาในระดับครัวเรือน จุ่มแช่นาน 10 นาที สามารถช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่แตกต่างกันกับการใช้ Clorox ความเข้มข้น 1% w/v จึงเลือกใช้การล้างผักน้ำด้วยน้ำประปาเป็นการเตรียมผักน้ำก่อนการบรรจุในถุงพลาสติกเพื่อการเก็บรักษาในการทดลองถัดไป

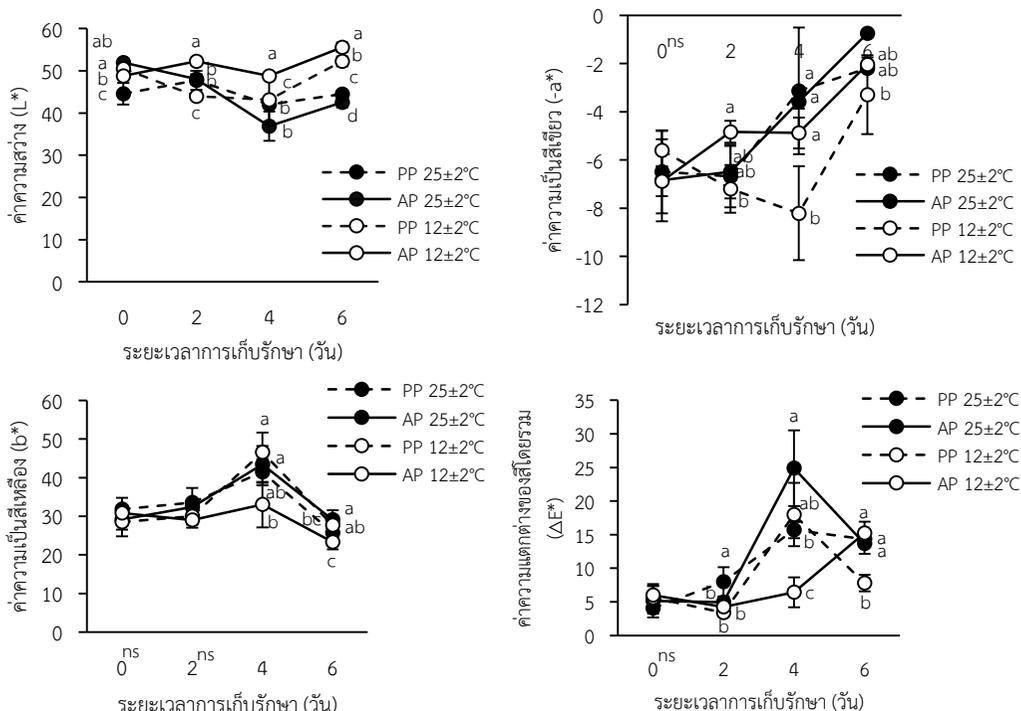


ภาพที่ 1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักน้ำที่จุ่มแช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างกัน [ตัวอักษรที่ต่างกันของแต่ละทรีตเมนต์ที่เวลาการจุ่มแช่เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)]

2. ผลของชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุผักน้ำต่อคุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ของผักน้ำระหว่างการเก็บรักษา

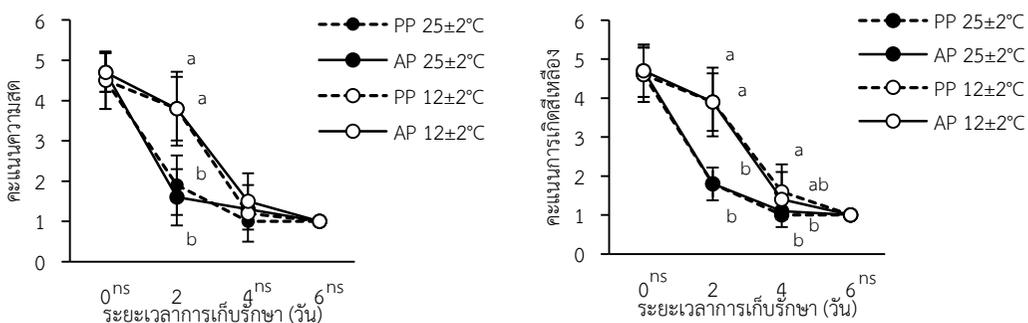
การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญของผักเป็นการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว ซึ่งสีเขียวเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของผักหลังการเก็บเกี่ยว จากการบรรจุผักน้ำในถุง 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกพอลิโพรพิลีน (PP) และถุงหายใจได้ (AP) แล้วเก็บรักษาอุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 42% และอุณหภูมิ $12 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 52% เป็นเวลา 6 วัน พบว่าผักน้ำมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ความเป็นสีเขียวของผักน้ำลดลง โดยค่าความเป็น

สีแดง (a*) มีค่าเป็นลบ แสดงถึงค่าความเป็นสีเขียวของผักน้ำ และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานาน 4 วัน เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 6 ผักน้ำเกิดการเน่าเสียทำให้ค่า b* ลดลง และค่า a* เพิ่มขึ้นแสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลที่มากขึ้น ทั้งนี้การเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ 25±2°C มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 12±2°C อาจส่งผลให้ผักน้ำมีค่า b* เป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Fahme & Nakano (2013) ศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่ออายุการเก็บรักษาของผลแตงกวา ที่อุณหภูมิ 5°C ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูง (99%) ปานกลาง (80%) และต่ำ (60%) เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าการเก็บรักษาผลแตงกวาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและปานกลางทำให้สูญเสียน้ำและเร่งการเสื่อมสภาพ ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ช่วยลดการสูญเสียความชื้นและช่วยรักษาการเปลี่ยนแปลงของสีผิวเปลือกและเนื้อสัมผัสได้ โดยผิวเปลือกแตงกวามีค่า L* ลดลง และมีค่าดัชนีความเหลืองเพิ่มขึ้นมากในระหว่างการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และมีค่า hue angle เท่ากับ 95.37 แสดงเฉดสีเป็นสีเหลืองและเน่าเสียภายหลังการเก็บรักษานาน 7 วัน เมื่อพิจารณา ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE*) ของผักน้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C และอุณหภูมิ 12±2°C มีค่า ΔE* เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าค่าสีของผักน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปจากวันแรกที่ทำให้การเก็บรักษา มาก โดยการเก็บรักษาวันที่ 2 พบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่า b* และค่า ΔE* และพบปฏิกริยาสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของถาดและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อค่า ΔE* โดยผักน้ำที่บรรจุในถาด PP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C มีค่า ΔE* มากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ดังภาพที่ 2 ทั้งนี้การเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ 12±2°C ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าสีให้เกิดขึ้นช้ากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C และพบการเน่าเสียของผักน้ำเพิ่มขึ้นมากทั้งสองอุณหภูมิในวันที่ 4-6



ภาพที่ 2 ค่าสี L* a* b* และ ΔE* ของผักน้ำที่บรรจุถาดพลาสติกชนิดต่างกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C และ 12±2°C เป็นเวลา 6 วัน [ตัวอักษรที่ต่างกันของแต่ละทริตเมนต์ในวันที่เก็บรักษาเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05), ns หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)]

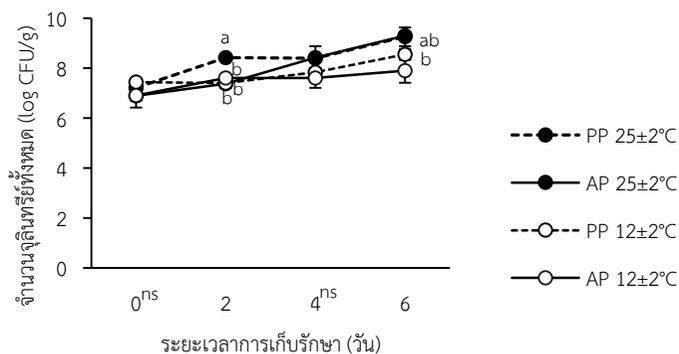
สีเขียวของผักเป็นคุณลักษณะประการแรกที่ถูกบริโภคใช้ในการประเมินคุณภาพความสดของผักหลังการเก็บเกี่ยว ตามปกติผักมีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองภายในระยะเวลาไม่เกินหนึ่งสัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง (Sun & Li, 2017) ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้คะแนนการประเมินคุณภาพลักษณะปรากฏเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอายุการเก็บรักษาของผักน้ำ จากผลการประเมินความสดและการเกิดสีเหลืองของผักน้ำในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C และ 12±2°C พบว่า ผักน้ำที่บรรจุในถุง PP และถุง AP ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2°C ในวันที่ 2 ผักน้ำเริ่มมีสีเหลืองแต่มีคะแนนความสดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และสามารถซื้อขายได้ ในขณะที่ผักน้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C เริ่มเน่าเสียจึงมีคะแนนความสดต่ำกว่า 2 คะแนน ซึ่งถือว่าหมดอายุการเก็บรักษาและคะแนนการเกิดสีเหลืองมากกว่า 50% ของปริมาณการบรรจุทั้งหมด ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ (p<0.05) (ภาพที่ 3) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสี b* เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้เห็นได้ชัดเจนว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อคะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองมากกว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์



ภาพที่ 3 คะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองของผักน้ำที่บรรจุถุงพลาสติกชนิดต่างกันระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C และ 12±2°C เป็นเวลา 6 วัน [ตัวอักษรที่ต่างกันของแต่ละทริตเมนต์ในวันที่เก็บรักษาเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05), ^{ns} หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)]

ผลการวิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักน้ำที่บรรจุในถุง PP และ ถุง AP แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C และ 12±2°C เป็นเวลา 6 วัน พบว่า ในวันแรกของการเก็บรักษาผักน้ำมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 6.90-7.45 log CFU/g (p>0.05) โดยวันที่ 2 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C ผักน้ำที่บรรจุในถุง PP มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าผักน้ำที่บรรจุในถุง AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ในขณะที่อุณหภูมิ 12±2°C พบว่าผักน้ำที่บรรจุในถุง PP มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าผักน้ำที่บรรจุในถุง AP (p>0.05) ทั้งนี้พบอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของถุงพลาสติกและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามผักน้ำที่บรรจุในถุง PP และถุง AP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C เริ่มเน่าเสียตั้งแต่วันที่ 2 จึงทำให้มีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 วัน การเพิ่มขึ้นของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอาจขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น อุณหภูมิการเก็บรักษา และชนิดของภาชนะบรรจุด้วย กล่าวคือการบรรจุผักน้ำในถุง PP ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic properties) และไม่มีขั้ว (Non-polar) หรือมีขั้วต่ำ เมื่อผักน้ำเกิดการหายใจสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษาทำให้มีไอน้ำเกาะอยู่ภายในถุงเป็นจำนวนมาก โดยปรากฏให้เห็นชัดเจนในถุง PP เนื่องจากถุงมีคุณสมบัติในการดูดน้ำ

ของฟิล์มและการแทรกซึมผ่านของไอน้ำต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับถุง AP ที่มีคุณสมบัติเป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active packaging) สามารถดูดซึมน้ำและน้ำแทรกซึมผ่านได้ดี จึงมีส่วนช่วยในการลดปริมาณไอน้ำที่เกาะที่ผิวด้านในของถุง แต่ทำให้ผักน้ำมีลักษณะปรากฏที่เหี่ยวมากกว่าผักน้ำที่บรรจุด้วยถุง PP และคุณสมบัติของถุง AP เป็นถุงที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีนและความชื้นผ่านด้วยอัตราที่เหมาะสม จึงลดการสะสมไอน้ำภายในถุง ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผักน้ำที่บรรจุในถุง PP โดยการบรรจุผักน้ำในถุง PP และถุง AP แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ มีแนวโน้มว่าสามารถช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ($p>0.05$) ดังนั้นหากพิจารณาเปรียบเทียบด้านราคาของถุงพลาสติกที่ใช้ถุง PP หาซื้อง่ายและมีราคาถูกกว่าถุง AP จึงเหมาะสมต่อการใช้งานของเกษตรกรผู้ปลูกเลี้ยงผักน้ำ จึงใช้ถุงพลาสติก PP ในการทดลองถัดไป



ภาพที่ 4 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผักน้ำที่บรรจุถุงพลาสติกชนิดต่างกันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน [ตัวอักษรที่ต่างกันแต่ละทริตเมนต์ในวันที่เก็บรักษาเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$), ^{ns} หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)]

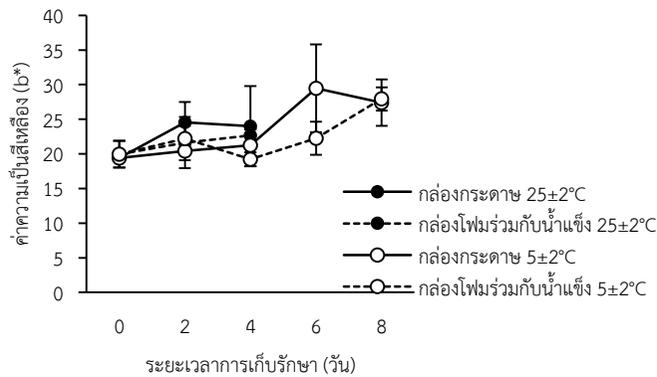
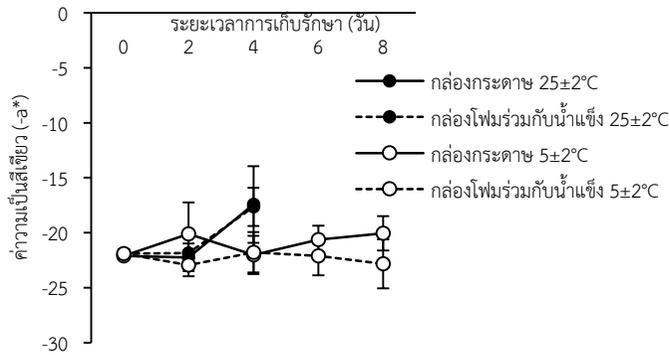
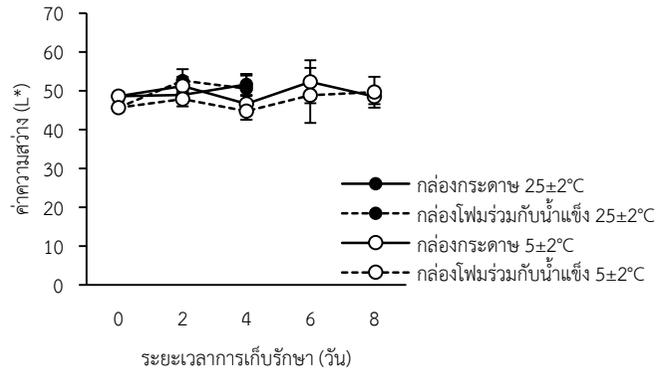
3. ผลของภาชนะบรรจุเพื่อขนส่งต่อคุณภาพทางกายภาพของผักน้ำระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาผลของการล้างผักน้ำด้วย Clorox เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา พบว่า วิธีการล้างผักน้ำด้วยน้ำประปาเป็นวิธีการที่เหมาะสม และชนิดของถุงพลาสติกที่เหมาะสมใช้บรรจุเป็นถุง PP ร่วมกับการเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวสามารถเก็บรักษาผักน้ำได้เพียง 2 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาสั้นยังไม่เหมาะสมต่อการวางจำหน่ายสินค้าทางไกลหรือใช้ในการบริโภค ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้อุณหภูมิของตู้เย็นที่ใช้ตามบ้านที่ผู้บริโภค/ผู้จำหน่ายใช้ในการจัดเก็บรักษาผักทั่วไปภายหลังจากรับสินค้า โดยจำลองสภาวะการบรรจุสินค้าเพื่อขนส่งจริงของเกษตรกรในการจัดส่งผักน้ำทางไกล เปรียบเทียบวิธีการบรรจุสินค้าด้วยกล่องกระดาษ (กล่องโปรเซสซี) และกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง ติดตามคุณภาพของผักน้ำปลายทางโดยนำผักน้ำมาจัดเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 8 วัน ผลการทดลอง พบว่าการบรรจุผักน้ำด้วยกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง แล้วจัดเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ มีคะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองในระดับคะแนนที่ผักน้ำยังสดและมีสีเขียวมากกว่าผักน้ำที่บรรจุด้วยกล่องกระดาษแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) และสามารถชื้อขายได้ภายในระยะเวลา 6 วัน การเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผักน้ำได้ชัดเจนเห็นได้ชัดจนเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ดังลักษณะปรากฏในภาพที่ 5 วันแรกผักน้ำมีสีเขียวสดค่า a^* เป็นลบ ซึ่งสีเขียวเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผักหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา

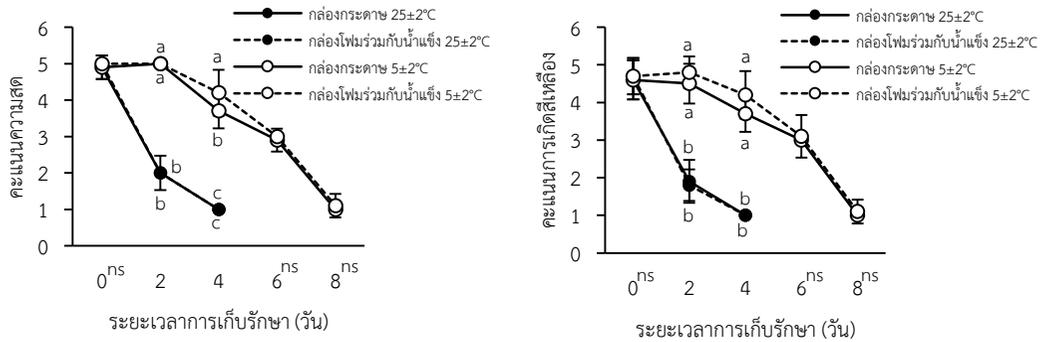
นานขึ้นค่า b^* เป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 6) เนื่องจากคลอโรฟิลล์มีการสลายตัว สีเหลืองส้มของแคโรทีนอยด์ที่ถูกบดบังไว้จึงปรากฏออกมา โดยเฉพาะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ช่วยเร่งการชราภาพและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Shi et al., 2016) โดย Quirino et al. (2000) กล่าวว่า การชราภาพของใบส้มพันธุ์ทับปั้งจัดทั้งภายในและภายนอก สำหรับปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ การเกิดบาดแผล การขาดน้ำ และการขาดแสง มีผลให้ผลิตผลเกิดความเครียดทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ต่าง ๆ เกิดการเสื่อมสภาพ และ Buchanan-Wollaston (1997) รายงานว่าปัจจัยภายในขึ้นอยู่กับอายุของใบ ซึ่งในระหว่างการเกิดกระบวนการชราภาพ สารอาหารต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่าง ๆ จะเคลื่อนที่ไปยังใบที่อ่อนกว่า ด้วยเหตุนี้ใบที่เกิดก่อนจึงเกิดการชราภาพหรือมีสีเหลืองขึ้นก่อน เมื่อพิจารณาตำแหน่งการเกิดสีเหลืองของผักน้า พบว่า ก้าน โคนก้าน ใบล่างจะเกิดสีเหลืองก่อน แต่ก้านที่ติดกับใบส่วนยอดจะเกิดสีเหลืองช้าที่สุด และสอดคล้องกับการให้คะแนนความสดและการให้คะแนนการเกิดสีเหลืองลดลงในระดับ 2 คะแนน ซึ่งหมายถึงยังพอรับประทานได้แต่ขายไม่ได้ (ภาพที่ 7) จึงมีอายุการเก็บรักษาที่ยอมให้มีการขายได้เพียง 1 วัน ที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (วันที่ 0)

วันที่	อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$		อุณหภูมิ $5 \pm 2^\circ\text{C}$	
	กล่องกระดาษ	กล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง	กล่องกระดาษ	กล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง
0				
2				
4				
6	เน่าเสียเกินเกณฑ์ยอมรับ			
8	เน่าเสียเกินเกณฑ์ยอมรับ			

ภาพที่ 5 ลักษณะปรากฏของผักน้าที่บรรจุในถุง PP ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ และ $5 \pm 2^\circ\text{C}$



ภาพที่ 6 ค่าสี L* a* b* ของผักน้ำที่มีการขนส่งด้วยบรรจุภัณฑ์ต่างกัน แล้วนำผักน้ำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2°C เป็นเวลา 4 วัน และอุณหภูมิ 5±2°C เป็นเวลา 8 วัน



ภาพที่ 7 คะแนนความสดและคะแนนการเกิดสีเหลืองของผักน้ำที่มีการขนส่งด้วยบรรจุภัณฑ์ต่างกัน แล้วนำผักน้ำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 วัน และอุณหภูมิ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 8 วัน [ตัวอักษรที่ต่างกันแต่ละทริตเมนต์ในวันที่เก็บรักษาเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns} หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)]

สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการล้างผักน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Clorox) และน้ำประปา พบว่า สามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการใช้น้ำ Clorox 1% w/v และน้ำประปา ที่เวลาการจุ่มแช่นาน 10 นาที การใช้น้ำ Clorox ความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2% w/v ไม่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ออกจากผักน้ำได้ทั้งหมด และยังไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560) การใช้น้ำ Clorox ที่ความเข้มข้นสูงทำให้ผักน้ำมีกลิ่นคลอรีนคั่ง ดังนั้นการล้างผักน้ำที่เหมาะสมทำได้โดยใช้น้ำประปา จุ่มแช่ล้างนาน 10 นาที จากนั้นนำวิธีการล้างนี้ไปใช้จัดการผักน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยว และคัดเลือกชนิดของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุ ได้แก่ ถุง PP และ AP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 2 และ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน พบว่า ผักน้ำบรรจุถุง PP ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $12\pm 2^{\circ}\text{C}$ เก็บได้นานเพียง 2 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาสั้นในการบริโภค/วางจำหน่ายสินค้า ดังนั้นในการจำลองการขนส่งทางไกล บรรจุผักน้ำในถุง PP ก่อนการบรรจุลงในกล่องกระดาษ (กล่องไปรษณีย์) และกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง แล้วนำผักน้ำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 ± 2 และ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ (อุณหภูมิตู้เย็นสำหรับเก็บรักษาผักทั่วไปในครัวเรือน) พบว่าผักน้ำที่บรรจุกล่องโฟมร่วมกับน้ำแข็ง ผู้บริโภค/ผู้จำหน่ายสามารถเก็บรักษาผักน้ำที่อุณหภูมิต่ำ $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ ได้นานถึง 6 วัน ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ เกษตรกรผู้ปลูกเลี้ยงผักน้ำสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักน้ำ และการจัดการขนส่งผักน้ำทางไกลเพื่อการบริโภคและการวางจำหน่ายต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อชนิดอื่น เช่น การใช้โอโซน บรรจุภัณฑ์ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน เพื่อเป็นแนวทางในการเก็บรักษาผักน้ำให้มีอายุการวางจำหน่ายที่นานขึ้นและมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย เรื่อง นวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ เพื่อยกระดับคุณภาพการผลิตพืชอัตลักษณ์ (ผักน้ำ) สู่อุตสาหกรรมการผลิตอย่างยั่งยืน รหัสโครงการ N73A660854 ประจำปีงบประมาณ 2566 และคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่สนับสนุนเครื่องมือในงานวิจัยนี้ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2555). **คู่มืออาสาสมัครเกษตรกรหมู่บ้าน**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุม สหกรรม การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- เบญจมาศ กรสงแก้ว. (2549). **ผลของการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นและบรรจุภัณฑ์ บรรยากาศตัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผักคะน้าแปรรูปพร้อมบริโภค**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เบญจมาศ จันท์ฉวี, สถาพร พงศ์พิตรลาย, และปฤษฎา เรื่องรัตน์. (2556). **ผลของผักน้ำเบตงสดและผักน้ำเบตงปรุงสุกต่อแอคติวิตีของไซโทโครม พี450 1เอ2 ในหนูขาวผ่านปฏิกิริยาเอ็น-ดีเมทิลเลชันของคาเฟอีน**. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นจาก <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2016/11140/1/415890-abstract.pdf>
- สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร. (2560). **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560)**. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข จังหวัดนนทบุรี. สืบค้นจาก <http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/index.php/bio/>
- AOAC. (2000). **Official method of analysis of AOAC international**. (17th ed.). Washington, D.C.: A.O.A.C.
- Artés, F., Gómez, P. Aguayo, E., Escalona, V., & Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. **Postharvest Biology and Technology**, 51(3), 287-296.
- Beuchat, L.R. (2000). **Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review**. Center for Food Safety and Quality Enhancement. Retrieved from https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/64435/WHO_FSF_FOS_98.2.pdf?sequence=1

- Buchanan-Wollaston, V. (1997). The molecular biology of leaf senescence. **Journal of Experimental Botany**, 48(2), 181-199.
- de São José, J. F. B., & Vanetti, M. C. D. (2015). Application of ultrasound and chemical sanitizers to watercress, parsley and strawberry: microbiological and physicochemical quality. **LWT-Food Science and Technology**, 63(2), 946-952.
- Fahmy, K., & Nakano, K. (2013). Influence of relative humidity on development of chilling injury of cucumber fruits during low temperature storage. **Asia Pacific Journal of Sustainable Agriculture Food and Energy**, 1(1), 1-5.
- Gu, G., Zhou, B., Mendes-Oliveira, G., Redding, M., Luo, Y., Millner, P., & Nou, X. (2023). Impact of sanitizer application on *Salmonella* mitigation and microbiome shift on diced tomato during washing and storage. **Postharvest Biology and Technology**, 198, 1-12.
- Hecht, S. S., Chung, F. L., Richie Jr, J. P., Akerkar, S. A., Borukhova, A., Skowronski, L., & Carmella, S. G. (1995). Effect of watercress consumption on metabolism of a tobacco-specific lung carcinogen in smokers. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**, 4(8), 877-884.
- Klimek-Szczykutowicz, M., Szopa, A., & Ekiert, H. (2018). Chemical composition, traditional and professional use in medicine, application in environmental protection, position in food and cosmetics of *Nasturtium officinale* (watercress)- a review. **Fitoterapia**, 129, 283-292.
- Quirino, B. F., Noh, Y. S., Himelblau, E., & Amasino, R. M. (2000). Molecular aspects of leaf senescence. **Trends in Plant Science**, 5(7), 278-282.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Barat, J. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. **Trends in Food Science & Technology**, 18(7), 373-386.
- Shi, J. Gao, L., Zuo, J., Wang, Q., Wang, Q., & Fan, L. (2016). Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life, enhances antioxidant enzyme activity, and inhibits chlorophyll-degradation. **Postharvest Biology and Technology**, 116, 98-104.
- Sun, Y., & Li, W. (2017). Effects the mechanism of micro-vacuum storage on broccoli chlorophyll degradation and builds prediction model of chlorophyll content based on the color parameter changes. **Scientia Horticulturae**, 224, 206-214.
- Wiley, R. C., & Yildiz, F. (1994). **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. U.S.A.: Chapman & Hall.
- Zhang, C., Hou, W., Zhao, W., Zhao, S., Wang, P., Zhao X., & Wang, D. (2023). Effect of ultrasound combined with sodium hypochlorite treatment on microbial inhibition and quality of fresh-cut cucumber. **Foods**, 12(4), 1-17.

[ชื่อเรื่องบทความวิจัยภาษาไทย (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง)]

[ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]^{1*} [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]² [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]³

บทคัดย่อ

บทคัดย่อ ควรจะสรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความวิจัย โดยใช้จำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด มีความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 point จัดกระจายแบบไทย “ชื่อเรื่อง” มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด และให้อธิบายสาระสำคัญของเรื่องได้ดี รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ “ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย” มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลพร้อมใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงความสำคัญของการเป็นผู้นิพนธ์หลัก หากมีผู้นิพนธ์บทความมากกว่าหนึ่งท่านให้ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้นิพนธ์พร้อมใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงความสำคัญของการเป็นผู้นิพนธ์หลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ และใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความไว้ในเชิงอรรถส่วนล่างของกระดาษ โดยระบุตำแหน่งทางวิชาการหรือตำแหน่งทางบริหาร(ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอดเดรส (E-mail Address) ของผู้นิพนธ์บทความทุกคน เช่น ¹ นักศึกษาระดับ ... สาขา... คณะ... มหาวิทยาลัย... อีเมล: หรือ อาจารย์... สาขา... คณะ... มหาวิทยาลัย... อีเมล: หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่... อีเมล: ... * ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล:รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวเอียง ขนาด 12 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ.....

คำสำคัญ : คำสำคัญ คำสำคัญ คำสำคัญ

¹ นักศึกษา หลักสูตรครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล :

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล :

³ เจ้าหน้าที่การเงิน บริษัท ธุรกิจการพิมพ์ จำกัด จังหวัดนนทบุรี อีเมล :

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล :

บทนำ

[บทนำ เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย].....
 (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

[วัตถุประสงค์ของการวิจัย เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การ
 ศึกษาวิจัย]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

วิธีดำเนินการวิจัย

[วิธีดำเนินการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่ม
 ตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์
 ข้อมูล]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

[ผลการวิจัยและอภิปรายผล ควรเสนอผลที่ชัดเจน ตรงประเด็น เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็น
 ลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย] ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มี
 เส้นขอบตารางด้านซ้ายและด้านขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5
 ตาราง และมีคำอธิบายตาราง เช่น

ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร

ส่วนประกอบ	ขนาดอักษร	ลักษณะอักษร
ชื่อบทความ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	TH SarabunPSK, 14	หนา
ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	TH SarabunPSK, 14	หนา
สถานที่ติดต่อ(ระบุในเชิงบรรณ)	TH SarabunPSK, 12	เอียง, ปกติ
บทคัดย่อ / Abstract	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
คำสำคัญ / Keywords	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
หัวข้อหลัก	TH SarabunPSK, 14	หนา
หัวข้อย่อย	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เนื้อความทั่วไป	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร (ต่อ)

ส่วนประกอบ	ขนาดอักษร	ลักษณะอักษร
ตารางและภาพ	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
กิตติกรรมประกาศ	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เอกสารอ้างอิง	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจน มีขนาดของรูปภาพที่เหมาะสมและมีคำบรรยายใต้รูปภาพ



ภาพที่ 1 ตัวอย่างการจัดรูปภาพ (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

สรุป

เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็น.....
.....(TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ข้อเสนอแนะ

[เนื้อหาข้อเสนอแนะ ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป] (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

กิตติกรรมประกาศ

[กิตติกรรมประกาศ ให้เขียนถึงข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ]
.....(TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

เอกสารอ้างอิง

[การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ให้ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อกับเอกสารภาษาต่างประเทศ]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

โทรศัพท์ 0 2909 3036 โทรสาร 0 2909 3036 E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th Website http://rd.vru.ac.th

แบบนำส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้าพเจ้าชื่อ (นาย, นาง, น.ส., ยศ) นามสกุล
2. วุฒิการศึกษาสูงสุด ปริญญาตรี ปริญญาโท ปริญญาเอก
คุณวุฒิ สาขา
- สถาบัน
- สำเร็จการศึกษา กำลังศึกษา ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา วันที่
3. สถานะภาพของผู้นิพนธ์บทความวิจัย อาจารย์ นักศึกษาปริญญาเอก นักศึกษาปริญญาโท บุคคลทั่วไป
ตำแหน่งทางวิชาการ ตำแหน่งทางบริหาร
4. ชื่อหน่วยงาน/สถานที่ทำงาน
- เลขที่ ถนน ซอย ตำบล/แขวง
- อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์
- โทรศัพท์ โทรสาร
- E-mail
5. ที่อยู่สำหรับติดต่อและจัดส่งเอกสาร
- เลขที่ ถนน ซอย ตำบล/แขวง
- อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์
- โทรศัพท์ โทรสาร
- E-mail มือถือ
6. มีความประสงค์ขอส่งบทความเรื่อง
- ชื่อบทความ(ภาษาไทย)
- ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ)

เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร วิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ยังไม่เคยนำลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับใดๆ มาก่อน ทั้งนี้ ข้าพเจ้าได้ศึกษากฎเกณฑ์และคำแนะนำในการส่งบทความวิจัยเพื่อนำลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แล้ว และยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขทุกประการ พร้อมนี้ข้าพเจ้าได้ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ บทความภาษาไทย จำนวน 4,500 บาท บทความภาษาอังกฤษ จำนวน 6,000 บาท เรียบร้อยแล้ว

โดยชำระเป็น โอนเงินผ่านทางธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาอ่อนนุช ชื่อบัญชี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3

ลงชื่อ.....ผู้นำส่งบทความวิจัย
(.....)

วันที่/...../.....

คำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. **การเตรียมต้นฉบับ** ต้นฉบับบทความวิจัยต้องจัดทำสำหรับกระดาษขนาด B5(JIS) (18.2 ซม. X 25.7 ซม.) ความยาว 15 หน้ากระดาษ ตามรูปแบบวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Word เวอร์ชัน 2007 ขึ้นไป
2. **การตั้งค่าหน้ากระดาษ** ระยะขอบกระดาษด้านบน (Top Margin) 2.54 เซนติเมตร ด้านซ้าย (Left Margin) ด้านขวา (Right Margin) และด้านล่าง (Bottom Margin) 2 เซนติเมตร
3. **รูปแบบตัวอักษร** ใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น ชื่อหัวข้อพิมพ์เป็นตัวหนา ขนาด 14 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ และเนื้อหาพิมพ์เป็นตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
4. **องค์ประกอบบทความวิจัยประกอบด้วย**
 - 4.1 **ชื่อเรื่อง** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด สามารถอธิบายสาระของเรื่องได้ดี รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 4.2 **ชื่อผู้นิพนธ์บทความ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้นิพนธ์บทความและใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้บนเลขยกเพื่อแสดงว่าเป็นผู้นิพนธ์หลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความและอีเมลผู้นิพนธ์หลักในเชิงอรรถ
 - 4.3 **ที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความ** ใส่รายละเอียดในเชิงอรรถข้อความที่เขียนไว้ส่วนล่างของหน้ากระดาษและมีเส้นคั่นระหว่างเชิงอรรถกับตัวบทคัดย่อ (Abstract) อย่างชัดเจน โดยขีดเส้นคั่นจากริมกระดาษด้านซ้าย ไปทางด้านขวาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 7 ตัวอักษร ใส่ตัวเลขกำกับไว้เหนือตัวอักษรตัวแรกเล็กน้อย ตัวเลขต้องตรงกับตัวเลขที่กำกับไว้กับชื่อผู้นิพนธ์บทความ ให้ระบุตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอดเดรส (E-mail Address) ของผู้นิพนธ์บทความทุกท่าน เช่น นักศึกษาระดับ.... สาขา.... คณะ มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ อาจารย์.... สาขา..... คณะ..... มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่... อีเมล... รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 12 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ
 - 4.4 **บทคัดย่อ(Abstract)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ โดยใช้สำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
 - 4.5 **คำสำคัญ(Keyword)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่ใต้บทคัดย่อ(Abstract) คำสำคัญภาษาไทย จำนวน 3 – 5 คำเรียงตามลำดับอักษรระหว่างคำวรรค 2 วรรค ส่วน Keyword หรือคำสำคัญภาษาอังกฤษให้เรียงตามคำสำคัญภาษาไทยคั่นระหว่างคำด้วยจุลภาค (,)
 - 4.6 **เนื้อหาของบทความวิจัย** ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้
 - 4.6.1 **บทนำ** เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย
 - 4.6.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย** ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย
 - 4.6.3 **วิธีดำเนินการวิจัย** ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล
 - 4.6.4 **ผลการวิจัยและอภิปรายผล** เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายได้รูป จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้

- 4.6.5 **สรุป** เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยและควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
- 4.6.6 **ข้อเสนอแนะ** ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป
- 4.6.7 **กิตติกรรมประกาศ** (ถ้ามี) ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ
- 4.6.8 **เอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง** การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ

4.7 การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิงในระบบ APA (American Psychological Association)

- 4.7.1 ชื่อวารสาร ชื่อหนังสือ และปีที่ (Volume) ไม่ใช่ชื่อย่อ
- 4.7.2 ชื่อภาษาอังกฤษ เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วย Last name ตามด้วยจุลภาค (,) และชื่อย่อตามด้วย มหัพภาค (.)
- 4.7.3 ชื่อไทย เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วยชื่อตัว ตามด้วยนามสกุล
- 4.7.4 กรณีผู้แต่งมากกว่าหนึ่งคน ให้เขียนชื่อผู้แต่งทั้งหมดทุกคน คั่นระหว่างชื่อด้วยจุลภาค (,) และมีคำว่า “and” หรือ “&” ในกรณีชื่อภาษาอังกฤษ หรือ “และ” ในกรณีชื่อภาษาไทยก่อนชื่อสุดท้าย
- 4.7.5 ถ้าไม่มีชื่อผู้แต่ง ให้ขึ้นต้นด้วยชื่อเรื่อง หรือชื่อวารสาร หรือชื่อหนังสือ ตามด้วยปีที่พิมพ์
- 4.7.6 ถ้าผู้แต่งเป็นหน่วยงาน หรือองค์กร ให้ใช้ชื่อหน่วยงานหรือองค์กรแทนชื่อผู้แต่ง
- 4.7.7 เรียงลำดับรายการตามตัวอักษรชื่อผู้แต่ง รายการที่มีทั้งเอกสารภาษาไทยและอังกฤษ ให้นำข้อมูลภาษาไทยขึ้นก่อน ตามด้วยข้อมูลภาษาอังกฤษ พิมพ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างบรรทัด อย่างน้อย (At least) 12 Point
- 4.7.8 บรรทัดที่สองและบรรทัดต่อไปของแต่ละรายการให้ย่อหน้าเข้ามา 7 ตัวอักษร หรือ 1.25 เซนติเมตร
- 4.7.9 การอ้างอิง – อ้างโดย(ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)
- 4.7.10 ไม่อ้างอิงโดยใช้คำว่า “และคณะ” หรือ “และคนอื่นๆ” หรือ et al. ยกเว้นกรณีอ้างอิงในเรื่องที่มีผู้แต่งตั้งแต่สามคนขึ้นไปและหลังจากได้มีการอ้างอิงครั้งแรกไว้ก่อนหน้านั้นแล้ว หรือการอ้างอิงที่มีผู้แต่งตั้งแต่หกคนขึ้นไป
- 4.7.11 การอ้างอิงจากวารสารและนิตยสารให้ระบุหน้าแรกถึงหน้าสุดท้าย โดยไม่ใช่คำย่อ “p.” หรือ “pp.” นอกจากหนังสือ
- 4.7.12 การติดต่อส่วนตัวโดยสื่อใดๆ ก็ตาม สามารถอ้างอิงได้ในเนื้อเรื่อง แต่ต้องไม่มีการระบุไว้ในรายการเอกสารอ้างอิง เพราะผู้อื่นไม่สามารถติดตามข้อมูลเหล่านี้ได้
- 4.7.13 การอ้างอิงจาก Website ให้ระบุวัน เดือน ปีที่พิมพ์ ถ้าไม่ปรากฏให้อ้างวันที่ทำการสืบค้น และระบุ URL ให้ชัดเจน ถูกต้อง เมื่อจบ URL address ห้ามใส่จุด (.) ข้างท้าย
- 4.7.14 Website ไม่บอกวันที่ ให้ระบุ n.d.
- 4.7.15 หลัง มหัพภาค “.” (period) เว้น 2 บรรทัด
- 4.7.16 หลัง จุลภาค “,” (comma) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.17 หลัง อัฒภาค “;” (semicolon) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.18 หลัง ทวิภาค “:” (colons) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.19 รูปแบบและตัวอย่างการอ้างอิงจากสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ

1. หนังสือหรือตำรา
- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี). //เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
ตัวอย่างเช่น ไพรซ์ รัชยพงษ์, และกฤษณะ ช่างกล่อม. (2541). **งานพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศแห่งชาติเพื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ: แพร่พิทยา.
- Mitchell, T. R., & Larson, J. R., Jr. (1987). **People in organizations: An introduction to organizational behavior** (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
2. หนังสือหรือตำราที่มีบรรณาธิการ
- รูปแบบ: ชื่อบรรณาธิการ(ผู้รวบรวม).//ปีที่พิมพ์.//ชื่อหนังสือ.//เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่างเช่น อดุลย์ วิริยเวชกุล, (บก.). (2541). **คู่มือจัดการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา**. นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- Gibbs, J. T., & Huang, L. N. (Eds.). (1991). **Children of color: Psychological interventions with minority youth**. San Francisco: Jossey-Bass.
3. วิทยานิพนธ์
- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อวิทยานิพนธ์.//ระดับวิทยานิพนธ์./มหาวิทยาลัย.
ตัวอย่างเช่น พรพิมล เฉลิมพลาคุณภาพ. (2535). **พฤติกรรมกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Almeida, D.M. (1990). **Fathers' participation in family work: Consequences for fathers' stress and father-child relations**. Unpublished master's thesis, University of Victoria, Victoria British Columbia, Canada.
4. รายงานการประชุมหรือสัมมนาทางวิชาการ
- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อเอกสารรวมเรื่องรายงานการประชุม./วัน เดือน ปี สถานที่จัด.
เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่างเช่น กรมวิชาการ. 2538. **การจัดกิจกรรมส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน**. การประชุมปฏิบัติการรณรงค์เพื่อส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน, 25-29 พฤศจิกายน 2528 ณ วิทยาลัยครูมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม. กรุงเทพฯ: ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1991). **A motivational approach to self: Integration in personality**. In R. Dienstbier (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation: Vol. 38. Perspectives on Motivation* (pp. 237-288). Lincoln: University of Nebraska Press. *Motivation: Vol. 38. Perspectives on Motivation* (pp. 237-288). Lincoln: University of Nebraska Press.
5. พจนานุกรม
- ตัวอย่างเช่น พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. (2546). กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชัน.
Shorter Oxford English dictionary (5 th ed.). (2002). New York: Oxford University Press.

6. วารสาร/นิตยสาร

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีตีพิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อวารสารหรือนิตยสาร./ปีที่ (ฉบับที่)/หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
ตัวอย่างเช่น ชำนิ กิ่งแก้ว, และอุษา คณเณ. (2551). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการลด
ความสูญเสียในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์. **วารสารเทคโนโลยีภาคใต้**, 1(2),
27-35.
- Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in
organizations. **Consulting Psychology Journal: Practice and Research**,
45(2), 10-36.

7. บทความจากหนังสือพิมพ์

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีตีพิมพ์, เดือน, วันที่.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อหนังสือพิมพ์./หน้าที่นำมาอ้างอิง.
ตัวอย่างเช่น สายใจ ดวงมาลี. (2548, มิถุนายน 7) มาลาเรียลาม3จว.ใต้ตอนบน สธ.เร่งคุมเข้มกันเชื้อแพร่หนัก.
คม-ชัด-ลึก, 25.
- Di Rado, A. (1995, March 15). Trekking through college: Classes explore
modern society using the world of Star Trek. **Los Angeles Time**, p. A3.

8. สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีตีพิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//สืบค้นจาก//URL
ตัวอย่างเช่น สำนักงานคณะกรรมการวัฒนธรรมแห่งชาติ กระทรวงวัฒนธรรม. (2545). **ประเพณีใส่
กระจาดชาวไทยพวนสอนให้รู้จักแบ่งปัน มีน้ำใจ**. สืบค้นจาก
[http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.
php?highlight_id=114&lang=th](http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.php?highlight_id=114&lang=th)
- Lynch, T. (1996). **DS9 trials and tribble-ations review**. Retrieved from
[http://www.bradley.edu/psiphi/
DS9/ep/503r.html](http://www.bradley.edu/psiphi/DS9/ep/503r.html)

5. **การส่งต้นฉบับ** ผู้มีพันธะต้องส่งต้นฉบับที่พิมพ์ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและ
ส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในรูปแบบ Word Document (.docx) และ
PDF File (.pdf) พร้อมแบบนำส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์และสำเนาหลักฐานการชำระเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ มาที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index> บทความวิจัยที่ปฏิบัติ
ตามคำแนะนำจะได้รับพิจารณาดำเนินการโดยทันที

6. การประเมินบทความวิจัย และลิขสิทธิ์ในการตีพิมพ์เผยแพร่

- 6.1 **การอ่านประเมินต้นฉบับ** บทความวิจัยต้นฉบับที่ส่งเข้ามาเพื่อลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา
วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จะได้รับการอ่านประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขานั้น ๆ อย่างน้อย
จำนวน 2 ท่านต่อเรื่องและส่งผลการอ่านประเมินคืนผู้มีพันธะความให้เพิ่มเติม แก้ไข แล้วแต่กรณี โดยบทความที่ผ่านการ
ประเมินได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผู้มีพันธะความจะได้รับหนังสือแจ้ง
พิจารณาการตีพิมพ์ พร้อมวารสารฉบับที่บทความวิจัยนั้นลงตีพิมพ์ จำนวน 1 ฉบับ

- 6.2 **ลิขสิทธิ์บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรม
ราชูปถัมภ์** ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำ
ข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษร

- 6.3 **ความรับผิดชอบ** เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เป็นความรับผิดชอบของผู้มีพันธะความหรือผู้เขียนเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

2.54 ซม.

บทนำ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย
 (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย.....
 (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

วิธีดำเนินการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มา
 ของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล
 (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย
 ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี
 ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมี
 คำบรรยายใต้รูป กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

สรุป (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้าง
 ทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้าน
 ทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์.....
 (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

ข้อเสนอแนะ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป
 (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

กิตติกรรมประกาศ(ถ้ามี) (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย
 รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

เอกสารอ้างอิง (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association)
 เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสาร
 ภาษาต่างประเทศ..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

2 ซม.

ขั้นตอนการตีพิมพ์บทความวิจัย

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

