



PBRU Science Journal

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2566
Volume 20 Number 2 July - December 2023

ISSN 2773-9716 (online)



PBRU Science Journal

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2566

Volume 20 Number 2 July - December 2023

ISSN 2773-9716 (online)

การบำบัดน้ำทิ้งความเค็มต่ำจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ด้วยผักบุง
ผักกระเฉดและกระบี่.....1

สุภัตติ นิมรัตน์*, บุญมา กรายไทยสงค์, ไตรมาส บุญไทย และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย

การพัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน.....17

สุธิตา กรรณสูตร*, ชัญญิตา ม่วงไหมทอง และ อุมภาพร น้อยถึง

การตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธีทดสอบ
Kastle-Meyer27

ธารารัตน์ แจ่มจำรัส* และ นพจุจ ศักดิ์ศิริ

ผลิตภัณฑ์น้ำสละครีมจากเต้าหู้ถั่วเหลืองเสริมไข่ผำแห้ง.....42

ศุภักษร มาแสวง, ศุภณัฐ เกิดน้อย, สุรเชษฐ วรรณพันธ์, ณนันท แดงสังวาลย์ และศันสนีย์ ทิมทอง*

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดพู่จากสารสกัดใบพู่เสือ (*Coleus amboinicus* Lour.) เพื่อล้าง
สารพิษตกค้างในผัก57

ลัดดาวัลย์ กองพลี* และ พรรณวิภา แพงศรี

ผลของพริกแกงไทยและแก่นตะวันต่อการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้าว.....67

วิชขума เตชะสิริวิชัย* และปรีดิอร เพ็ชรใหญ่

การศึกษาความคงทนของสีสกัดจากพืชในท้องถิ่น ที่มีต่อผ้าทอเส้นใยตาลกลุ่มวิสาหกิจชุมชน
ภูถ้ำรงค์ จังหวัดเพชรบุรี.....81

เกษฯ ลาวงษา, กฤตพร ชูแสง, สุวดี ประดับ, สุจาริณี สังข์วรรณะ และ วีระศักดิ์ ศรีลารัตน์*

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วแดงโปรตีนสูง.....92

สุรีย์พร กังสนันท์* รุจจิรา คำเอี่ยม ลักขณา ศรีรุ่งเรือง และ สุภาพร ศรีรุ่งเรือง



PBRU Science Journal

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2566

Volume 20 Number 2 July - December 2023

ISSN 2773-9716 (online)

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสนาะ กลิ่นงาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ ไกรเนตร์

อธิการบดี

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษกร อุยวงศ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกรัตน์ จิรสัจจานุกูล

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เมษิยา แยมเจริญกิจ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

อาจารย์ ดร.สมิตานันท์ จันทะบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

นางสาวอรุณี แก้วบริสุทธิ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ศาสตราจารย์ ดร.ปริษา ภูวไพริศริศา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ภก.ดร.ปิติ จันทวรโรจน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.สุนิษฐ์ สุขสำราญ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รองศาสตราจารย์ ดร.โกมล ไพศาล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

รองศาสตราจารย์ ดร.จินตนา วิบูลย์ศิริกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนันท์ หงส์วิทธิธร

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.บัญชา ยิ่งงาม

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณชัย ขาแท่น

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

รองศาสตราจารย์ ดร.สิริธร สโมสร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รองศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทิบุญมา

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิสรา ศรีวัฒนาวรรณ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรบุษ สืบเจริญ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานีศา แก้วสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินันท์ แก่นทอง

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภลักษณ์ โพธิ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อาจารย์ ดร.อภิรดา สถาปัตยานนท์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



PBRU Science Journal

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2566

Volume 20 Number 2 July - December 2023

ISSN 2773-9716 (online)

สำนักงานกองบรรณาธิการ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

โทรศัพท์ 0 3270 8633 โทรสาร 0 3270 8661

เว็บไซต์ <http://sciencejournal.pbru.ac.th>

อีเมล sciencejournal@mail.pbru.ac.th

ข้อมูลผู้พิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

โทรศัพท์ 0 3270 8633 โทรสาร 0 3270 8661

วัตถุประสงค์ และขอบเขตของวารสาร

PBRU Science Journal เป็นวารสารที่จัดทำโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณค่า และเพื่อนำไปสู่การพัฒนาคำถามความรู้ใหม่และนวัตกรรมที่ทันสมัย ซึ่งผลงานที่สามารถเผยแพร่ในวารสารมีทั้งบทความวิจัย (research article) ทางด้านวิทยาศาสตร์ เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา จุลชีววิทยา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณิตศาสตร์ สถิติ คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยบทความที่จะขอรับการตีพิมพ์ ต้องเป็นผลงานที่ไม่ได้ทำการคัดลอกจากผลงานของผู้อื่น ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น โดยทุกบทความต้องผ่านการบวนการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง

กำหนดการตีพิมพ์

ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน

ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม

- บทความทุกเรื่องในวารสารฉบับนี้ ได้รับพิจารณาประเมินคุณภาพทางวิชาการก่อนการตีพิมพ์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง และจากหลากหลายสถาบัน จำนวน 3 ท่านต่อ 1 บทความ
- บทความและแนวคิดใด ๆ ที่พิมพ์ใน PBRU Science Journal เป็นความรับผิดชอบของผู้แต่ง
- กองบรรณาธิการวารสารไม่สนใจสิทธิ์ ในการคัดลอกเพื่อการพัฒนาเชิงวิชาการ แต่ต้องได้รับการอ้างอิงอย่างถูกต้อง
- ไม่มีการเรียกเก็บค่าใช้จายในการตีพิมพ์ในวารสาร PBRU Science Journal

การบำบัดน้ำทิ้งความเค็มต่ำจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ด้วยผักบุ้ง ผักกระเฉดและกระเจี๊ยบ

Phytoremediation of Low Salinity Effluents from Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*) Culture by Water Spinach, Water Mimosa, and Water Chestnut.

สุบัตติต นิมรัตน์¹ บุญมา กรายไทยสงศ์² ไตรมาศ บุญไทย³ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย⁴

Subuntith Nimrat¹ Boonma Kraythaisong² Traimat Boonthai² and Verapong Vuthiphandchai³

¹ภาควิชาจุลชีววิทยา ²โครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ³โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ⁴ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

¹Department of Microbiology ²Environmental Science Program, ³Biological Science Program, ⁴Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri 20131

*Corresponding author; E-mail: subunti@buu.ac.th; subunttbt@gmail.com

Received: 25 October 2022 /Revised: 02 November 2022 /Accepted: 11 November 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งความเค็มต่ำ (1.1-1.4 พีพีที) จากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) โดยใช้ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica* Forsk) ผักกระเฉด (*Neptunia oleracea* Lour) และกระเจี๊ยบ (*Trapa bispinosa* Roxb) ความหนาแน่น 3 กรัมต่อลิตร ในตู้กระจกจำลอง และศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ในระหว่างการบำบัดนาน 27 วัน จากการศึกษาพบว่ากระเจี๊ยบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุด ($p < 0.05$) โดยลดปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนในแอมโมเนียม ไนเตรต ฟอสฟอรัสรวม บีโอดีและความขุ่นได้ร้อยละ 88.78, 53.24, 97.97, 70.47, 89.94 และ 91.66 ตามลำดับ รองลงมาคือ ผักกระเฉดและผักบุ้ง ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสรวมและบีโอดีในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระเจี๊ยบผ่านค่ามาตรฐานตามข้อกำหนดการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่งของกรมประมง (2562) นอกจากนี้กระเจี๊ยบยังเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 7.1 ± 1.1 ซึ่งสูงกว่าผักกระเฉด (ร้อยละ 6.2 ± 1.9) และผักบุ้ง (ร้อยละ 2.0 ± 1.2) การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากระเจี๊ยบเป็นพืชน้ำทางเลือกที่ดีในการบำบัดน้ำทิ้งความเค็มต่ำจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

คำสำคัญ: กุ้งทะเล น้ำทิ้ง บีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส



Abstract

This study aimed to compare the phytoremediation potential of low-salinity (1.1-1.4 ppt) effluent from black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) pond by water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk), water mimosa (*Neptunia oleracea* Lour), and water chestnut (*Trapa bispinosa* Roxb) at a density of 3 g/L in simulated glass aquaria. Growths of the three aquatic plants were also investigated during 27 days of remediation period. Results demonstrated that water chestnut showed the most effective remediation ($p<0.05$) with removal efficiencies of total ammonia, nitrite, nitrate, total phosphorus, BOD, and turbidity of 88.78%, 53.24%, 97.97%, 70.47%, 89.94%, and 91.66%, respectively, followed by water mimosa, and water spinach. Total phosphorus and BOD concentrations in water chestnut-treated effluent were within acceptable values following the criteria of effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by the Department of Fisheries (2019). In addition, water chestnut grew well in the effluent from the black tiger shrimp pond. The rate of weight increment of water chestnut was $7.1\pm1.1\%$, which was higher than that of water mimosa ($6.2\pm1.9\%$), and water spinach ($2.0\pm1.2\%$). This study demonstrates that water chestnut is a good choice of aquatic plant for phytoremediation of low-salinity effluent from black tiger shrimp pond.

Keywords: Marine shrimp, Effluent, BOD, Nitrogen, Aquatic plant

บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกกุ้งทะเลและผลิตภัณฑ์จากกุ้งทะเลรายใหญ่ของโลก ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเลทั่วประเทศรวม 26,700 ฟาร์ม ครอบคลุมพื้นที่ 342,068 ไร่ ปริมาณผลผลิตกุ้งทะเลรวมทั้งสิ้น 388,592 ตัน คิดเป็นมูลค่ารวมสูงถึง 5.8 พันล้านบาท โดยกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สร้างรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศอย่างมาก รองมาจากกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) โดยมีปริมาณผลผลิต 14,743 ตัน คิดเป็นมูลค่า 3.3 พันล้านบาท

ในปี พ.ศ. 2563¹ ปัจจุบันกุ้งกุลาดำมักเพาะเลี้ยงในพื้นที่น้ำกร่อยที่มีความเค็มต่ำ เพื่อลดปัญหาจากโรคระบาด เพิ่มการเจริญเติบโตและการจัดการฟาร์มที่ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการขยายพื้นที่การเพาะเลี้ยงอย่างรวดเร็วและการจัดการของเสียอย่างไม่มีประสิทธิภาพส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การนำเสียของแหล่งน้ำ การตัดไม้ทำลายป่าชายเลน และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศชายฝั่ง เป็นต้น ตามปกติแล้วน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลมักมีสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ในปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐานของการระบายน้ำทิ้ง

จากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ได้แก่ ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ของแฉะ ขวอนลอย แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสรวม ไฮโดรเจน ซัลไฟด์และไนโตรเจนรวม² อีกทั้งน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลยังมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ชนิดต่าง ๆ ในระดับวิกฤต เช่น ทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และปรอท (Hg)^{3,4} การปล่อยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลที่ปนเปื้อนด้วยธาตุอาหาร (Nutrients) สามารถทำให้เกิดการเจริญของพืชน้ำ และสาหร่ายอย่างไร้ขอบเขต (Eutrophication) ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ และส่งผลทำให้การเจริญเติบโต การเจริญวัยและการสืบพันธุ์ลดลงและเพิ่มการตายของปลา⁵

น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำทิ้งด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล แม้ว่าเทคโนโลยีทางกายภาพและเคมีเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ แต่เทคโนโลยีเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายสูงทั้งในการลงทุนสร้างระบบ การใช้พลังงานเพื่อเดินระบบและการบำรุงรักษา⁶ ดังนั้นการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพซึ่งเป็นวิธีการบำบัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน การบำบัดด้วยพืชน้ำเป็นเทคโนโลยีการบำบัดทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ อย่างแพร่หลายในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โดย Effendi et al.⁷ ได้กล่าวว่าการบำบัดด้วยพืชน้ำเป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดการ คุ่มค่า สามารถจัดการน้ำ

ทั้งในปริมาณมากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พืชน้ำที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีหลายชนิด เช่น เทียน้ำ สาหร่ายคลอเรลลา สาหร่ายหางกระรอก ต้นธูปฤๅษี สันตะวาใบพาย สันตะวาใบข้าว ผักตบชวาและจอกหูหนู เป็นต้น

ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica* Forsk) ผักกระเฉด (*Neptunia oleracea* Lour) และกระเจี๊ยบ (*Trapa bispinosa* Roxb) เป็นพืชลอยน้ำ (Floating plants) ที่มีศักยภาพนำมาใช้ในการบำบัดสารพิษต่าง ๆ เนื่องจากเจริญเติบโตได้ดีในสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารมลภาวะ การศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าพืชน้ำเหล่านี้มีศักยภาพในการบำบัดสารปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสีย เช่น ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ไครโอเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม ปรอทและสีย้อมที่ใช้ในสิ่งทอ^{8, 9, 10} พืชน้ำเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงปลา โดยมีบทบาทในการส่งเสริมการเจริญเติบโต การกำจัดสารอาหารและปรับปรุงคุณภาพน้ำ¹¹ แต่ในปัจจุบันมีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยพืชลอยน้ำที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจและมีศักยภาพในการสร้างรายได้เสริมให้เกษตรกร โดยมีเพียงผักบุ้งและผักกระเฉดที่ได้รับการยืนยันถึงศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลและปู^{8, 12} ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบความเค็มต่ำ (1.1-1.4 พีพีที) โดยการใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระเจี๊ยบ และศึกษาการเจริญเติบโตของพืชน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

วิธีการวิจัย

1. การเก็บน้ำทั้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ตั้งอยู่ในตำบลโพธิ์อากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นการเลี้ยง กุ้งแบบพัฒนาในระบบปิดที่มีการเติมน้ำจืดในบาง ช่วงเพื่อรักษาระดับความเค็ม ทดแทนน้ำส่วนที่ ระเหยและรั่วซึม บ่อเลี้ยงกุ้งเป็นบ่อดินธรรมชาติ ขนาด 4 ไร่ ความลึกประมาณ 1.5 เมตร ที่มีการใช้ พลาสติกชนิดโพลีเอททิลีนคลุมบริเวณขอบบ่อ เพื่อป้องกันการพังทลายของดิน การให้อาการมีการ ติดตั้งเครื่องให้อาการแบบใบพัดตีน้ำในสัดส่วน 5 แร่งน้ำต่อไร่ ตั้งแต่เริ่มปล่อยกุ้งจนระยะจับกุ้ง เพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งทำให้น้ำหมุนเวียนอย่างทั่วถึง ตะกอนต่าง ๆ รวมกันกลางบ่อและมีพื้นที่ สะอาดเพียงพอสำหรับกุ้ง อัตราการปล่อยลูกกุ้ง ประมาณ 50 ตัวต่อตารางเมตร การให้อาหาร ใช้อาหารสำเร็จรูปทางการค้าที่มีโปรตีน (>40%) ไขมัน (>5%) และกาก (<3%) โดยให้อาหาร 5 มื้อ

ต่อวัน การเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดำเนินการเมื่อเลี้ยงกุ้งนาน 107 วัน ซึ่งเป็นระยะที่กุ้ง โตเต็มวัยพร้อมจับจำหน่าย โดยการสูบน้ำปริมาตร 5,000 ลิตร ที่ระดับที่ความลึกประมาณ 1 เมตรจาก ผิวหน้าด้วยเครื่องสูบน้ำผ่านถุงกรองแพลงก์ตอน ขนาด 37 ไมครอน ใส่ลงในถังไฟเบอร์กลาส รวมทั้ง เก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยจอบและ ใส่ลงในถุงพลาสติกสีดำ เพื่อนำมาเติมลงในตู้ กระเจกทันที่เมื่อบรรทุกมาถึงสถานที่ทำการทดลอง

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง กุลาดำพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเค็มและ ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนค่าบีโอดีและฟอสฟอรัสรวมมี ค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์ น้ำชายฝั่ง (Table 1) หากปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ ธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดจะก่อให้เกิดการ สะสมของสารอาหารจนทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียได้ ดังนั้นน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งในการศึกษาครั้งนี้ จึงถูกนำมาใช้ในการบำบัดด้วยพืชน้ำทิ้ง 3 ชนิด

Table 1. Quality of black tiger shrimp culture effluents in this study

Parameters	Effluent discharge		Effluent standard values*
	Range	Mean	
pH	8.48-9.54	8.74±0.70	6.5-9.0
Temperature (°C)	32.00-32.90	32.48±0.46	-
Salinity (ppt)	0.9	0.9±0	Below 50% of natural reservoirs
Dissolved oxygen (mg/L)	6.40-9.45	7.97±1.53	-
Turbidity (NTU)	39.01-42.41	41.13±1.85	-

Table 1. Quality of black tiger shrimp culture effluents in this study (continue)

Parameters	Effluent discharge		Effluent standard values*
	Range	Mean	
Biochemical Oxygen Demand: BOD (mg/L)	32.13-33.04	32.59±0.46	<20
Total ammonia (mg/L)	0.40-0.72	0.70±0.29	<1.1
Nitrite (mg/L)	0.11-0.27	0.21±0.09	-
Nitrate (mg/L)	0.97-1.95	1.55±0.51	-
Total Phosphorus (mg/L)	1.08-1.58	1.73±0.73	<0.4

* Regulatory discharge limits of effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by the Department of Fisheries ²

2. การเตรียมพืชน้ำ

พืชน้ำที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ผักบุ้ง ผักกระเฉดและกระเจ็บ (Figure 1) พืชน้ำมีความสมบูรณ์พร้อมเหง้า มีความสูง ความยาว จำนวนใบ และน้ำหนักสดใกล้เคียงกันถูกเก็บมาจากหนองน้ำในเขตอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ตัวอย่างทั้งหมดถูกนำกลับมายังห้องปฏิบัติการและล้างด้วยน้ำประปาเพื่อกำจัดตะกอนและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

จากนั้นนำมาปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสิ่งแวดล้อมในถังที่บรรจุน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำความเค็มต่ำ 500 ลิตร และต่อด้วยอุปกรณ์เติมอากาศและให้แสงสว่าง โดยนำเหง้าผักบุ้งและผักกระเฉดที่มีลำต้นสมบูรณ์วางลงบนแพไม้ไผ่ที่ใช้เป็นแพลตฟอร์ม ส่วนเหง้ากระเจ็บนำมาลอยในน้ำเป็นเวลา 4 วัน ก่อนนำไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในตู้กระจกต่อไป

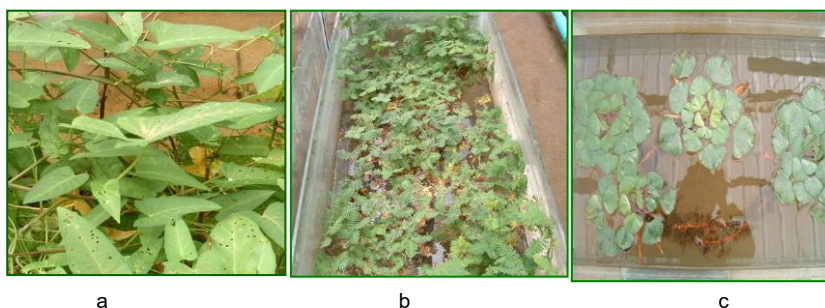


Figure1. Aquatic plants used for phytoremediation a) water spinach, b) water mimosa, and c) water chestnut

3. การออกแบบการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการออกแบบการทดลองแบบแผนสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยเริ่มจากเตรียมตู้กระจกขนาด 120 ลิตร

(40X75X40 เซนติเมตร) จำนวน 12 ใบ เติมน้ำที่เก็บมาจากรอบบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำลงในตู้กระจกให้มีความหนา 7 เซนติเมตร จากนั้นเติมน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำปริมาตร 100 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 วันก่อน

เริ่มการทดลองภายในโรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภาควิชา
วาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้กระเจกแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุด
การทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้แก่ 1) ชุดควบคุม
(ไม่เติมพีชน้ำ) 2) ชุดการทดลองเติมผักบุ้ง 3) ชุด
การทดลองเติมผักกระเฉด และ 4) ชุดการทดลอง
เติมกระเจบ ปริมาณพีชน้ำที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ
300 กรัมต่อตู้ (ความหนาแน่น 3 กรัมต่อลิตร) และ
ไม่มีการเติมอากาศ ตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งจากการ
เพาะเลี้ยงกุ้งทุกวันและคุณภาพน้ำทั้งของแต่ละชุด
การทดลองมีดังนี้ อุณหภูมิ (27.4-33.3 องศา
เซลเซียส) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (6.27-9.02) ปริมาณ
ออกซิเจนละลายน้ำ (4.53-12.38 มิลลิกรัมต่อลิตร)
และความเค็ม (1.1-1.4 พีพีที) โดยค่าความเป็น
กรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็มและปริมาณออกซิเจน
ละลายน้ำในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตลอดระยะเวลา
การบำบัดนาน 27 วัน

4. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด
น้ำทั้งของพีชน้ำทั้ง 3 ชนิด คุณภาพน้ำทั้งถูกตรวจ
วิเคราะห์ ณ เวลา 8:00 น. โดยตรวจวัดความขุ่นด้วย
เครื่องวัดค่าความขุ่น (Model 2100 N: Dusseldorf,
Germany) รวมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณมุมทั้ง
4 ด้านและจุดกึ่งกลางของผู้กระเจกแล้วนำมารวมกัน
เป็นตัวอย่างเดียว (Integrated sample) เพื่อนำมา
วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม ไนเตรต ไนไตรต์และ
ฟอสฟอรัสรวมด้วยเทคนิค Modified indophenol
blue, Brucine method, Diazotization และ Persulfate
digestion - ascorbic acid method โดยใช้สารละลาย
แอมโมเนียมคลอไรด์ โพแทสเซียมไนเตรต โซเดียม

ไนไตรต์และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็น
สารละลายมาตรฐาน และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 640,
410, 543 และ 885 นาโนเมตร ตามลำดับ^{13, 14} และ
วิเคราะห์ค่าพีไอดีด้วยวิธี Azide Modification¹⁵

ประสิทธิภาพในการลดปริมาณแอมโมเนีย
รวม ไนไตรต์ ไนเตรต ฟอสฟอรัสรวม ความขุ่นและ
พีไอดีถูกวิเคราะห์ในวันสุดท้ายของการทดลอง
โดยคำนวณจากสมการของ Devi et al.¹⁶ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

โดย C_0 คือความเข้มข้นของตัวแปร ณ เวลาเริ่มต้น
และ C_1 คือความเข้มข้นของตัวแปรสุดท้าย

5. การประเมินการเจริญเติบโตของพีชน้ำ

ซึ่งน้ำหนักสดของพีชน้ำในแต่ละชุดการ
ทดลองในวันเริ่มต้นการทดลองและวันสุดท้ายของ
การทดลอง จากนั้นคำนวณการเจริญเติบโตจาก
สมการ ดังนี้

$$\text{อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

โดย W_0 คือน้ำหนักสด ณ เวลาเริ่มต้น

และ W_1 คือน้ำหนัก ณ วันสุดท้ายของการทดลอง

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐาน ข้อมูลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ถูกเปรียบเทียบ
ด้วยการวิเคราะห์ Analysis of Variance (ANOVA)
แบบ One-way ANOVA และเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วย
Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ
 $p < 0.05$ ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 19.0

ผลการวิจัย

1. ผลของการบำบัดด้วยพืชน้ำต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนในเทรต ฟอสฟอรัสรวม ความชื้นและบีโอดี

ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในชุดควบคุมและชุดที่เติมพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด มีค่าแปรปรวนในช่วง 13 วันแรกของการบำบัด แต่หลังจากนั้นกระจัดมีประสิทธิภาพในการ

ลดปริมาณแอมโมเนียรวมได้ดีที่สุด โดยแอมโมเนียรวมในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระจัดมีปริมาณต่ำที่สุด (0.06 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉด (0.13 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ผักบุ้ง (0.14 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดควบคุม (0.18 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังการบำบัดนาน 27 วัน (Figure 2)

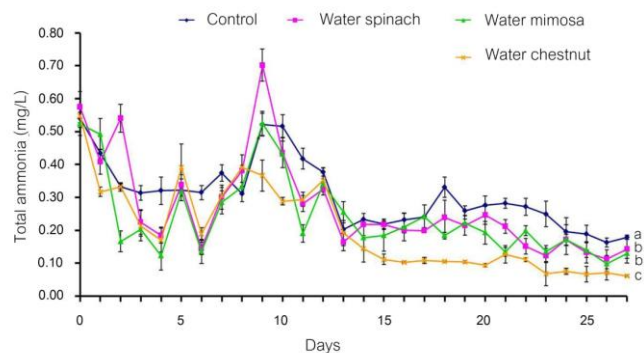


Figure 2. Total ammonia concentration in low-salinity effluent from phytoremediation by water spinach, water mimosa, and water chestnut of black tiger shrimp culture during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial. Regulatory discharge limits of ammonia (< 1.1 mg/L) in effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by the Department of Fisheries²

น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ในวันแรกของการทดลอง มีปริมาณไนเตรตสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรตในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักบุ้ง ผักกระเฉดและกระจัดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการบำบัด ในขณะที่น้ำทิ้งในชุดควบคุมมีปริมาณไนเตรตค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณไนเตรตใน

น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระจัด ผักบุ้งและผักกระเฉดมีค่าเท่ากับ 0.04 ± 0.00 , 0.07 ± 0.02 และ 0.11 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าน้ำทิ้งในชุดควบคุม (0.69 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) หลังการบำบัดนาน 27 วัน (Figure 3)

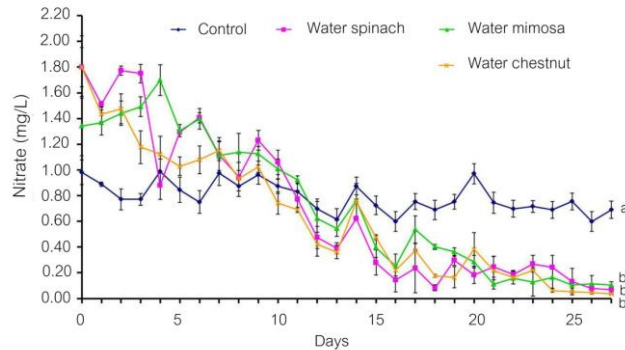


Figure 3. Nitrate concentration in effluent from phyto remediation by water spinach, water mimosa, and water chestnut of black tiger shrimp culture during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p<0.05$) difference among treatments at 27 days of phyto remediation trial.

ไนไตรต์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด และชุดควบคุมมีค่าแปรปรวนในช่วง 15 วันแรกของการบำบัด หลังจากนั้นไนไตรต์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉดและกระเจี๊ยบมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นเมื่อสิ้นสุดการบำบัดนาน 27 วัน น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉดและกระเจี๊ยบมีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ

0.007 ± 0.001 และ 0.007 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักบุ้ง (0.009 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดควบคุม (0.011 ± 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$; Figure 4)

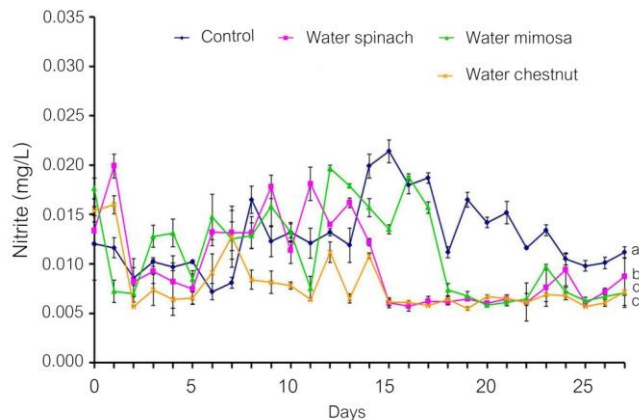


Figure 4. Nitrite concentration in effluent from phyto remediation by water spinach, water mimosa, and water chestnut of black tiger shrimp culture during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p<0.05$) difference among treatments at 27 days of phyto remediation trial.

ฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 8 วันแรกของการบำบัด หลังจากนั้นน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำทิ้ง 3 ชนิดมีปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงอย่างชัดเจน โดยน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระบะจับมีปริมาณฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 0.39 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่า

มาตรฐาน (0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร) และต่ำกว่าน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉด (0.49 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ผักบุ้ง (0.64 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดควบคุม (1.08 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) หลังการบำบัดนาน 27 วัน (Figure 5)

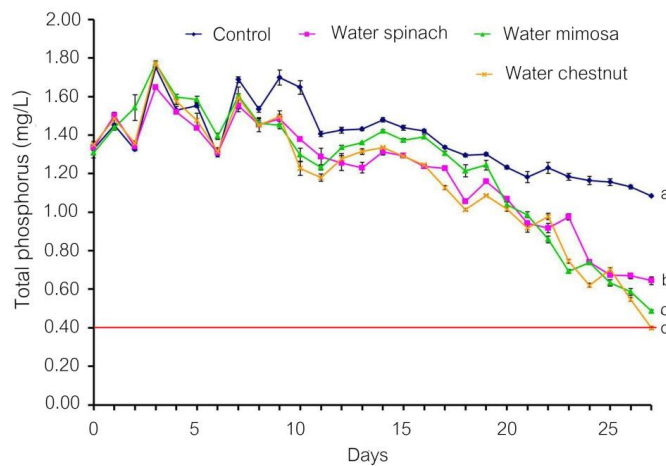


Figure 5. Total phosphorus concentration in effluent from phytoremediation by water spinach, water mimosa, and water chestnut of black tiger shrimp culture during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

— The effluent standard value of total phosphorus (< 0.4 mg/L) in effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by the Department of Fisheries ²

ปริมาณบีโอดีของทุกชุดการทดลองในวันแรกของการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 31.89±2.58-32.00±1.20 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นค่าบีโอดีมีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระบะจับหลังการบำบัดนาน 27 วัน มีค่าใกล้เคียง

กัน โดยมีค่าเท่ากับ 4.72 ± 0.51 , 4.31 ± 0.63 และ 3.22 ± 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าชุดควบคุม (13.58 ± 1.49 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$; Figure 6) โดยค่าบีโอดีในทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดนาน 27 วัน

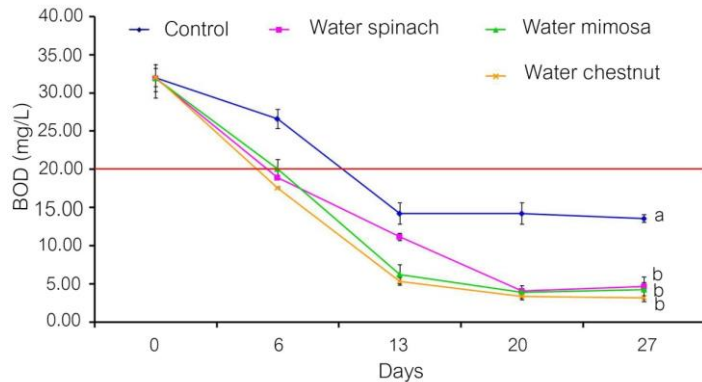


Figure 6. BOD values in effluent from phytoremediation by water spinach, water mimosa, and water chestnut of black tiger shrimp culture during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p<0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

— The effluent standard value of BOD (<20 mg/L) in effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by the Department of Fisheries²

ความขุ่นของทุกชุดการทดลองในวันแรกของการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 38.11 ± 1.34 - 38.62 ± 1.01 NTU หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระเจ็บมีความขุ่นน้อยที่สุด (3.22 ± 0.24 NTU) และ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉด (6.21 ± 0.97 NTU) ผักบุ้ง (8.22 ± 1.02 NTU) และชุดควบคุม (14.19 ± 0.52 NTU) หลังการบำบัดนาน 27 วัน (Figure 7)

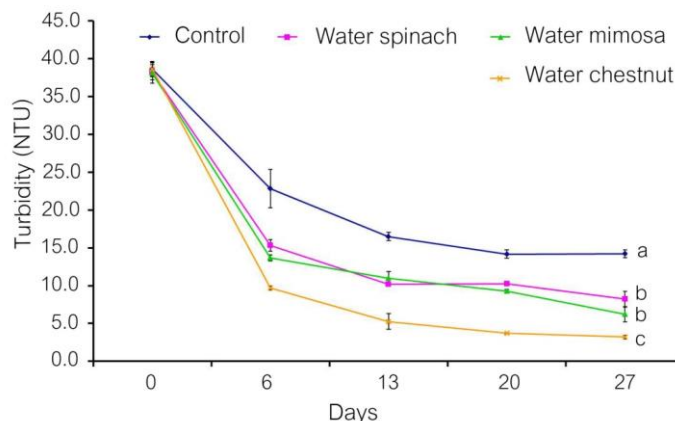


Figure 7. Turbidity values in effluent from phytoremediation by water spinach, water mimosa, and water chestnut of black tiger shrimp culture during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p<0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

2. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งของพืชน้ำ

กระเจี๊ยบมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้ง โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียรวม (ร้อยละ 88.78±1.09) ฟอสฟอรัสรวม (ร้อยละ 70.47±1.39) และความขุ่น (ร้อยละ 91.66±3.33)

สูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับผักบุ้ง ผักกระเฉดและชุดควบคุม ส่วนอัตราการบำบัดไนไตรต์และบีโอดีของกระเจี๊ยบมีค่าใกล้เคียงกับผักกระเฉดและสูงกว่าผักบุ้งและชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 2)

Table 2. Removal efficiencies of pollutants in black tiger shrimp culture effluent by water spinach, water mimosa, and water chestnut at phytoremediation period of 27 days

Pollutants	Removal efficiencies (%)			
	Control	Water spinach	Water mimosa	Water chestnut
Ammonia	66.95±0.57 ^a	75.11±1.21 ^b	75.25±0.89 ^b	88.78±1.09 ^c
Nitrite	7.18±1.22 ^a	34.91±1.49 ^b	59.81±1.20 ^c	53.24±1.56 ^c
Nitrate	29.59±1.56 ^a	96.17±1.91 ^b	92.15±0.98 ^b	97.97±2.09 ^b
Total phosphorus	18.42±1.31 ^a	51.77±2.29 ^b	62.75±2.82 ^c	70.47±1.39 ^d
BOD	57.54±0.49 ^a	85.21±0.51 ^b	86.50±1.63 ^{bc}	89.94±1.24 ^c
Turbidity	63.25±2.57 ^a	78.49±2.91 ^b	83.72±0.95 ^c	91.66±3.33 ^d

Lowercase letters indicate significant ($p<0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

3. การเจริญเติบโตของพืชน้ำ

หลังการบำบัดน้ำทิ้งนาน 27 วัน กระเจี๊ยบมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 7.1±1.1 ซึ่งใกล้เคียงกับผักกระเฉด (ร้อยละ 6.2±1.9) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับผักบุ้ง คือ ร้อยละ 2.0±1.2 (Table 3)

Table 3. Growth performance of aquatic plants used in this study at remediation period of 27 days

Aquatic plants	Rates of weight increment (%)
Water spinach	2.0±1.2 ^a
Water mimosa	6.2±1.9 ^b
Water chestnut	7.1±1.1 ^b

Lowercase letters indicate significant ($p<0.05$) difference among treatments.

อภิปรายผล

การบำบัดด้วยพืชน้ำเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและง่ายต่อการจัดการในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล⁷ การศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่ากระจัดเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบความเค็มต่ำ เนื่องจากสามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม บีโอดีและความขุ่นได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณฟอสฟอรัสรวมและบีโอดีหลังการบำบัดด้วยกระจัดนาน 27 วัน ลดลงอยู่ในระดับค่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่งที่ประกาศโดยกรมประมง² นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าพืชน้ำอีก 2 ชนิด คือ ผักบุ้งและผักกระเฉด ก่อนหน้านี้นี้มีรายงานการใช้พืชน้ำหลายชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำและกุ้งขาว เช่น ผักบุ้ง ผักกระเฉด ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) แหนเป็ด (*Lemna perpusilla* Torr.) และผ่าหรือไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza*) โดยสามารถลดปริมาณของแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลและปู หลังการบำบัดระยะสั้นคือ 72 ชั่วโมง และระยะยาวคือ 53 วัน^{8, 12, 17, 18, 19}

ตามปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต จะอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยการออกซิเดชันของแอมโมเนียเป็นไนไตรต์และไนเตรตผ่านปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันต่อเนื่องด้วยกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) และก๊าซไนโตรเจนเพื่อปล่อย

ออกสู่บรรยากาศต่อไป¹⁹ การลดลงของแอมโมเนียรวม ไนไตรต์ และไนเตรตในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระจัด ผักกระเฉด และผักบุ้งในการศึกษานี้ไม่น่าจะไม่ได้เกิดจากการใช้สารประกอบไนโตรเจนเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตของพืชน้ำเพียงเท่านั้น แต่ยังได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อาศัยอยู่ในน้ำทิ้งและบริเวณรากของพืชน้ำ ดังรายงานของ Zhang et al.¹² ที่พบจุลินทรีย์กลุ่มแอมโมเนียฟายอิง ในทริฟายอิงและดีไนทริฟายอิงอาศัยอยู่บริเวณรากของผักบุ้งที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ กุ้งกุลาดำ กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium* sp.) และปูแม่น้ำแยงซี (Yangtze River crab) และแบคทีเรียเหล่านี้มีบทบาทสำคัญอย่างมากในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้ง โดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่มีอยู่ในน้ำทิ้งและรากของพืชน้ำต้องการออกซิเจนละลายน้ำที่เพียงพอเพื่อเพิ่มกระบวนการย่อยสลายให้สูงขึ้น การเติมอากาศเข้าไปในระบบโดยอาศัยพืชน้ำจะช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำทิ้งเกิดได้ดียิ่งขึ้น²⁰

ปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระจัด ที่น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าผ่านมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่งของกรมประมง² หลังการบำบัดนาน 27 วัน การศึกษานี้ยังพบว่าการย่อยสลายของฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ต้องใช้เวลานานกว่าบีโอดีและสารประกอบไนโตรเจน สอดคล้องกับการบำบัดน้ำเสียจากผลิตภัณฑ์นมด้วยจอก (*Pistia stratiotes*) ที่พบว่าการบำบัดนาน 20 วัน สามารถย่อยสลายฟอสฟอรัส

ได้เพียง 69.3% เท่านั้น²¹ เช่นเดียวกับแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต การลดลงของปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำน่าจะเป็นเกิดจากการดูดซึมฟอสฟอรัสของพืชน้ำ การศึกษาของ Zhang et al.¹² พบว่ากลไกหลักในการลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งของผักบุ้ง คือ การดูดซึมเพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้จุลินทรีย์ประจำถิ่นในน้ำทิ้งและบริเวณรากของพืชน้ำก็มีบทบาทในการลดปริมาณฟอสฟอรัสเช่นเดียวกัน¹⁹

ค่าบีโอดีเป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้ง การศึกษานี้ อัตราการลดลงของค่าบีโอดีเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบะจับและผักกระเฉด โดย Suppadit et al.⁸ รายงานว่าผักกระเฉดมีศักยภาพในการลดค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้สูงถึงร้อยละ 93.5 ด้วยระยะเวลาการบำบัดนาน 30 วัน ในทำนองเดียวกันผักตบชวาเป็นพืชน้ำอีกชนิดหนึ่งที่สามารถลดค่าบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 70 เมื่อบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีความเค็มสูง คือ 25 พีพีที ภายในระยะเวลา 76 ชั่วโมง¹⁹ การศึกษาในครั้งนี้ น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระบะจับ ผักกระเฉดและผักบุ้ง มีค่าผ่านมาตรฐานปริมาณบีโอดี (<20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำทิ้งจากกิจกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่ง ตามประกาศของกรมประมง² ภายในระยะเวลา 6 วัน ส่วนน้ำทิ้งในชุดควบคุมใช้ระยะเวลาประมาณ 10 วัน ในการลดค่าบีโอดีให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน การลดลงของค่าบีโอดีแสดงให้เห็นถึงการดูดซึมสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเพื่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อย

สลายสารปนเปื้อน โดยอาศัยการเพิ่มออกซิเจนในน้ำทิ้งด้วยพืชน้ำ⁸

ความชุ่มชื้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ เมื่อปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความใสของน้ำลดลง²² น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่บำบัดด้วยกระบะจับ ผักตบชวาและผักบุ้งมีความชุ่มชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ อาจเกิดจากพืชน้ำเหล่านี้ช่วยในการดักจับของแข็งแขวนลอยไว้บริเวณลำต้น ใบและราก รวมทั้งเพิ่มการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการลดความชุ่มชื้นของพืชน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความหนาแน่นของพืชน้ำ ความยาวของลำต้นและราก เป็นต้น²³ การศึกษาในครั้งนี้เป็นที่น่าสนใจที่พบว่ากระบะจับเป็นพืชน้ำที่สามารถลดความชุ่มชื้นของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอาจอธิบายได้จากลักษณะเฉพาะของกระบะจับที่เป็นพืชน้ำที่มีส่วนลำต้นบริเวณท้องน้ำแตกไหลเลื้อยยาวเป็นข้อปล้องและมีรากขนาดเล็กแตกออกจากบริเวณข้อไหลทำให้มีพื้นที่ผิวมากในการดูดซับของแข็งแขวนลอยในน้ำ ทำให้อัตราการตกตะกอนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

นอกจากประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอาหาร กระบะจับยังเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าผักกระเฉดเล็กน้อย แต่สูงกว่าผักบุ้งถึง 3.55 เท่า การเจริญเติบโตได้ดีของกระบะจับแสดงถึงการเป็นพืชตัวเลือกที่ศักยภาพในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบความเค็มต่ำ รวมทั้งการเจริญเติบโตที่ดีของกระบะจับยังน่าจะเป็นเหตุผล

อธิบายถึงปริมาณสารต่าง ๆ ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการดัดแปลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำชนิดอื่น งานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ได้ยืนยันความสามารถในการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำของผักกระเฉดในพื้นที่น้ำจืด แต่การศึกษาในครั้งนี้ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตต่ำกว่ากระบี่ ตามปกติแล้วในธรรมชาติผักกระเฉดจะเจริญเติบโตได้ดีขึ้นมากเมื่อเจริญเติบโตร่วมกับกก⁸ แต่การศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้เติมกกลงบ่อบำบัดน้ำทิ้งซึ่งน่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกระเฉด ผักบุ้งเป็นพืชลอยน้ำอีกชนิดที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเป็นทางเลือกที่ดีในการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร เนื่องจากเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจและเป็นที่ต้องการของตลาด¹² แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้พบว่าผักบุ้งมีการเจริญเติบโตได้ต่ำในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากความแตกต่างของสายพันธุ์ผักบุ้ง ลักษณะภูมิอากาศและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม การใช้กระบี่ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเป็นวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดปัญหามลภาวะในระบบนิเวศและทำให้การเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลมีความยั่งยืน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากระบี่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบความเค็มต่ำ โดยสามารถลดปริมาณ แอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรต ฟอสฟอรัสรวม บีโอดีและความขุ่นได้ร้อยละ 88.78, 53.24, 97.97, 70.47, 89.94 และ 91.66 ตามลำดับ

หลังการบำบัดนาน 27 วัน ซึ่งความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมและบีโอดีเป็นไปตามข้อกำหนดการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่ง ของกรมประมง² นอกจากนี้กระบี่ยังเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดังนั้นการบำบัดด้วยกระบี่จึงช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตควรเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดด้วยกระบี่ในบ่อพักน้ำจากการเพาะเลี้ยงจริง โดยพิจารณาความหนาแน่นที่เหมาะสมและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

เอกสารอ้างอิง

1. กรมประมง. สถิติผลผลิตการเลี้ยงกุ้งทะเลประจำปี 2563. เอกสารฉบับที่ 10/2564. กรุงเทพฯ: กลุ่มสถิติการประมง, กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2564.
2. ประกาศกรมประมง. ข้อกำหนดให้ผู้ประกอบการกิจการการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ซึ่งเป็นกิจการการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควบคุมภายในเขตเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตามมาตรา 77 แห่งพระราชกำหนดการประมง พ.ศ. 2558 ตั้งปฏิบัติ พ.ศ. 2562. กรุงเทพฯ: กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2562.
3. Umamaheswari G, Srinivasan M, Ramanathan T. Heavy metal concentration from shrimp culture ponds at Point Calimer area. Curr Res J Biol Sci 2011;3:73-7.

4. Na Nakorn A, Chevavidagam P, Danteravanich S. Environmental impact of white shrimp culture during 2012-2013 at Bandon Bay, Surat Thani Province: a case study investigating farm size. *Agric Nat Resour* 2017;51:109-16.
5. Umesh NR, Mohan CV, Phillips MJ, Bhat BV, Ravi BG, Chandra MAB, et al. Risk analysis in aquaculture - experiences from small-scale shrimp farmers of India. *Underst Appl Risk Anal Aquac* FAO Fisheries 2008;1:247-64.
6. Tom AS, Jayakumar JS, Biju M, Somarajan J, Ibrahim MA. Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: a review. *Energy Nexus* 2021;4:100022.
7. Effendi H, Margaretha JA, Krisanti M. Reducing ammonia and chromium concentration in batik wastewater by vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) grown in floating wetland. *Appl Ecol Environ Res* 2018;16:2947-56.
8. Suppadit T, Phoonchinda W, Bunsirichai P. Treatment of effluent from shrimp farm by using water mimosa (*Neptunia oleracea* Lour). *J ISSAAS* 2005;11:1-11.
9. Chandanshive VV, Kadam SK, Khandare RV, Kurade MB, Jeon BH, Jadhav JP, et al. In situ phytoremediation of dyes from textile wastewater using garden ornamental plants, effect on soil quality and plant growth. *Chemosphere* 2018; 210:968-76.
10. Kumar V, Chopra AK. Phytoremediation potential of water caltrop (*Trapa natans* L.) using municipal wastewater of activated sludge process based municipal wastewater treatment plant. *Environ Technol* 2018;39:12-23.
11. Nuwansi KKT, Verma AK, Prakash C, Tiwari VK, Chandrakant MH, Shete AP, et al. Effect of water flow rate on polyculture of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and goldfish (*Carassius auratus*) with water spinach (*Ipomoea aquatica*) in recirculating aquaponic system. *Aquac Int* 2016;24:385-93.
12. Zhang Q, Achal V, Xu Y, Xiang WN. Aquaculture wastewater quality improvement by water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsskal) floating bed and ecological benefit assessment in ecological agriculture district. *Aquac Eng* 2014;60:48-55.
13. Strickland JDH, Parsons TR. A manual of seawater analysis. Ottawa: Bulletin of the Fisheries Research Board; 1972.
14. Grasshoff K, Kremling K, Ehrhardt M. Methods of seawater analysis. New Jersey: John Wiley & Sons; 2009.
15. American Public Health Association. Standard method for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
16. Devi MG, Shinoon A, Hasmi ZS, Sekhar GC. Treatment of vegetable oil mill effluent using crab shell chitosanas adsorbent. *Int J Environ Sci Technol* 2012;9:713-8.
17. Ruenglerpanyakul W, Attasat S, Wanichpongpan P. Nutrient removal from shrimp farm effluent by



- aquatic plants. *Water Sci Technol* 2004;50:321-30.
18. Suppadit T, Phoochinda W, Phutthilerphong S, Nieobubpa C. Treatment of effluent from shrimp farms using watermeal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.). *ScienceAsia* 2008;34:163-8.
19. Nyanti L, Berundang G, Ling TY. Short term treatment of shrimp aquaculture wastewater using water hyacinth (*Eichhomia crassipes*). *World Appl Sci J* 2010;8:1150-6.
20. Bala JD, Lalung J, Ismail N. Biodegradation of palm oil mill effluent (POME) by bacterial. *Int J Sci Res Publ* 2014;4:502-11.
21. Dipu S, Anju A, Kumar V, Thanga SG. Phytoremediation of dairy effluent by constructed wetland technology using wetland macrophytes. *Glob J Environ Res* 2010;4:90-100.
22. Tananaev NI, Debolskiy MV. Turbidity observations in sediment flux studies: examples from Russian rivers in cold environments. *Geomorphology* 2014;218:63-71.
23. Yahyapour S, Golshan A, Ghazali AH. Removal of total suspended solids and turbidity within experimental vegetated channel: optimization through response surface methodology. *J. Hydro Environment Res* 2014;8:260-9.

การพัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน

The Development of *Cymbopogon citratus* stapf. Leaves and *Curcuma longa* Linn.
Herbal Liquid Soap Formulas

สุธิดา กรรณสูตร, ชันญธิดา ม่วงไหมทอง และ อุมภาพร น้อยถึง

Suthida Kunnasut, Chanantida Maungmaithong and Umaporn Noitheung

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Chemistry Department, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author. E-mail: suthida_chem@hotmail.com

Received: 05 April 2022 /Revised: 03 August 2023 /Accepted: 15 August 2023

บทคัดย่อ

ตะไคร้และขมิ้นชันเป็นพืชสมุนไพรที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางทั้งในการประกอบอาหารและยารักษาโรค ด้วยสรรพคุณที่สามารถบรรเทาอาการเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารและจากการศึกษาพบว่ายังมีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากใบตะไคร้และขมิ้นชัน 2) เพื่อพัฒนาสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน วิธีการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 การเตรียมสารสกัดเอทานอลจากใบตะไคร้และขมิ้นชัน ขั้นที่ 2 ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากใบตะไคร้และขมิ้นชันด้วยวิธี DPPH และขั้นที่ 3 พัฒนาสูตรสบู่เหลวใบตะไคร้และขมิ้นชันและศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้สบู่เหลวใบตะไคร้และขมิ้นชัน ผลการศึกษาพบว่า สารสกัดเอทานอลจากใบตะไคร้และขมิ้นชันสามารถยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 19 ppm และ 32 ppm ตามลำดับ และนำมาพัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชันจำนวน 4 สูตร ประกอบด้วย สบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้ จำนวน 2 สูตร ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดเอทานอลจากใบตะไคร้ 19 และ 29 ppm ตามลำดับ และสบู่เหลวสมุนไพรขมิ้นชันจำนวน 2 สูตร ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดเอทานอลจากขมิ้นชัน 32 และ 42 ppm ตามลำดับ และจากผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้พบว่าสบู่เหลวสมุนไพรสูตร F1L, F2L และ F2T ผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับมาก ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

คำสำคัญ: สบู่เหลว สบู่เหลวสมุนไพร ใบตะไคร้ ขมิ้นชัน ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน



Abstract

Lemongrass and turmeric are medicinal plants that are widely used in both culinary and medicinal practices for their ability to alleviate gastrointestinal symptoms. Studies have shown that they also possess antioxidant properties. The research aims to 1) investigate the antioxidant properties of ethanol extracts obtained from the leaves of *Cymbopogon citratus* Stapf. and *Curcuma longa* L., 2) formulate an herbal liquid soap using *C. citratus* Stapf. leaves and *C. longa* L., and 3) assess user satisfaction. The research approach is broken down into the following 3 steps: The first step involved making an ethanol extract from the leaves of *C. citratus* Stapf. and *C. longa* L. In the second step, the ethanol extracts of *C. citratus* Stapf. leaves and *C. longa* L. were studied for their antioxidant activity using the DPPH assay. The third step involved developing a liquid soap formula using *C. citratus* Stapf. leaves and *C. longa* L. and studying user satisfaction. According to the findings, the ethanol extract DPPH radicals can be inhibited by extracts from the leaves of *C. citratus* Stapf. and *C. longa* L. It created four formulas using the leaves of *C. citratus* Stapf. and the liquid soap made from *C. longa* L., with corresponding IC_{50} values of 19 ppm and 32 ppm. It included two formulas of herbal liquid soap made from *C. citratus* Stapf. leaves mixed with ethanol extract at 19 and 29 ppm, respectively, and two recipes of herbal liquid soap made from *C. longa* L. at 32 and 42 ppm, respectively. Furthermore, users are pleased with the potent herbal liquid soap compositions. And from the results of the user satisfaction study. From the results of the user satisfaction study, it was found that the herbal liquid soap formulas F1L, F2L and F2T were satisfied at a high level, which could be used as a guideline for further product development.

Keywords: liquid soap, herbal liquid soap, *Cymbopogon citratus* Stapf. Leaves, *Curcuma longa* Linn., antioxidation

บทนำ

ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* Stapf.) อยู่ในวงศ์ Gramineae เป็นไม้ล้มลุกประเภทหญ้า เหน้ง้าได้ดินมีกลิ่นเฉพาะมีประโยชน์ในทางยาตั้งแต่รากจนถึงใบใช้เป็นยาขับลม แก้ท้องอืด ช่วยลดความดัน แก้ไข้¹ นอกจากประโยชน์ทางยาที่ตั้งกล่าวแล้วในประเทศไทยตะไคร้ยังถูกนำมาใช้ในการประกอบอาหารหลายชนิด อาทิ ต้มยำ หมักเนื้อสัตว์ดับคาว

สลัดและเครื่องดื่มได้² จากการศึกษาทางวิจัยพบว่า ตะไคร้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ³⁻⁵ และสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Staphylococcus intermedius*⁶ ขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn.) อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae เป็นไม้ล้มลุกมีเหง้าใต้ดิน เช่นเดียวกับตะไคร้และมีการนำมาใช้ประโยชน์ทางยาตั้งแต่ใบถึงเหง้า มีฤทธิ์ในการบรรเทาอาการปวดท้อง ขับลมและยังมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย⁷

เชื่อว่า ลดการอักเสบและทำให้ผิวพรรณผุดผ่อง¹ สบู่เป็นเครื่องสำอางชนิดหนึ่งที่ใช้ในการทำ ความสะอาดร่างกายเพื่อชำระล้างคราบสกปรกออกจาก ผิวหนัง ปัจจุบัน การผลิตสบู่มีการพัฒนาปรับปรุง สูตรได้หลายชนิด เช่น สบู่สมุนไพร โดยนำสมุนไพร มาเป็นส่วนผสมเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มสรรพคุณทางยา และลักษณะที่พึงประสงค์มากขึ้น⁸ เช่น การดูแล ผิวพรรณ เป็นต้น ด้วยสถานการณ์ของการระบาดของ โรคต่าง ๆ ในปัจจุบันประชาชนมีความตระหนัก ในด้านการดูแลสุขภาพส่วนบุคคลมากขึ้นรวมถึงการ ใช้สบู่ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นจึงเป็นอีกหนึ่ง ทางเลือกในการดูแลสุขภาพ

ในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึง ประโยชน์ของสบู่ไฟทั้ง 2 ชนิด ในด้านความสามารถ ในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งส่งผลในเรื่องของสุขภาพ ภายนอกและการดูแลผิวพรรณจึงนำมาพัฒนาเป็นสบู่ เหนียวใบเตยและขมิ้นชันโดยมีวัตถุประสงค์ของการ วิจัยเพื่อศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ใบเตยและขมิ้นชัน พัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบ เตยและขมิ้นชันและศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ สบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 2 ชนิดเพื่อนำมาเป็นข้อมูลใน การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวสมุนไพรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาสูตรสบู่เหลว สมุนไพรใบเตยและขมิ้นชัน คณะผู้วิจัยดำเนินการ วิจัย 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 ศึกษาเอกสารและ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระในใบ เตยและขมิ้นชันและเตรียมสารสกัดใบเตยและ ขมิ้นชัน ขั้นที่ 2 ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของ สารสกัดใบเตยและขมิ้นชัน และขั้นที่ 3 พัฒนา สูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบเตยและขมิ้นชันและ

ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด การดำเนินการวิจัยในแต่ละขั้นมีดังนี้

ขั้นที่ 1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระในใบเตยและ ขมิ้นชันและเตรียมสารสกัดใบเตยและ ขมิ้นชัน

คณะผู้วิจัยศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระตัวทำ ละลายที่ใช้ในการสกัดและความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระจากใบเตยและขมิ้นชันและนำข้อมูลที่ได้ มาสังเคราะห์เป็นวิธีการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ ในใบเตยและขมิ้นชัน เตรียมตัวอย่างใบเตยและ ขมิ้นชันที่ได้มาจากตลาดท้องถิ่นในจังหวัด เพชรบุรี โดยนำใบเตยและขมิ้นชันล้างน้ำทำ ความสะอาดและหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นตากแดด ให้แห้งเป็นเวลา 3 วัน นำตัวอย่างพืชแห้งทั้ง 2 ชนิด 500 กรัม มาบดเป็นผงละเอียดและนำมาแช่ด้วย 95% เอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ระเหยตัวทำ ละลายให้แห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศและทำ การสกัด 3 ครั้ง

ขั้นที่ 2 ศึกษาความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระของสารสกัดใบเตยและขมิ้นชัน

ในการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูล อิสระคณะผู้วิจัยใช้วิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH assay) โดยเตรียมสารละลาย DPPH radical ในเอทานอลเข้มข้น 10 ppm และเตรียมสารละลาย ตัวอย่างใบเตยและขมิ้นชันเข้มข้น 70 ppm และ นำมาเจือจางเป็น 5, 10, 15, 20 และ 25 ppm จากนั้น นำไปศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแบ่งชุดการทดสอบเป็น 3 ชุด คือ A, B และ C ตามลำดับดังนี้

ชุด A (test sample) = test sample 3 มิลลิลิตร
+ DPPH 3 มิลลิลิตร

ชุด B (blank of test sample) = test sample 3
มิลลิลิตร + เอทานอล 3 มิลลิลิตร

ชุด C (control) = เอทานอล 3 มิลลิลิตร +
DPPH 3 มิลลิลิตร

จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว
คลื่น 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปค
โตรโฟโตมิเตอร์และคำนวณความสามารถในการ
ต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging) จาก

$$\% \text{ radical scavenging } (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) \times 10 \quad (1)$$

เมื่อ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุด C

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุด A
- ค่าการดูดกลืนแสงของชุด B

ขั้นที่ 3 พัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพร ใบตะไคร้และขมิ้นชันและศึกษาความพึงพอใจ ของผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน

คณะผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาสูตรสบู่เหลว
สมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชันชนิดละ 2 สูตรโดยนำ
ข้อมูลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากขั้นที่
2 มาออกแบบสูตรสบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด ๆ ละ
2 สูตร โดยมีรายละเอียดแสดงดัง Table 1 และร่าง
แบบประเมินความพึงพอใจและเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ
พิจารณาความเหมาะสมสอดคล้องของแบบประเมิน
ความพึงพอใจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่ม
ตัวอย่างผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน
จำนวน 50 คน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์
ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Table 1. The formulation for herbal liquid soap of lemongrass and turmeric

Liquid soap formula		Ingredients of liquid soap					
	N 70 (g)	Extract of lemongrass (g)	Extract of turmeric (g)	Salt (g)	Water (g)	Pearl glitter (g)	Preservative (mL)
1. Formula 1 of							
Lemongrass Herbal	1,000	0.04	-	250	1,000	50	5
Liquid Soap (F1L)							
2. Formula 2 of							
Lemongrass Herbal	1,000	0.06	-	250	1,000	50	5
Liquid Soap (F2L)							
3. Formula 1 of the							
Turmeric Herbal	1,000	-	0.07	250	1,000	50	5
Liquid Soap (F1T)							

Table 1. The formulation for herbal liquid soap of lemongrass and turmeric (continue)

Liquid soap formula	Ingredients of liquid soap						
	N 70 (g)	Extract of lemongrass (g)	Extract of turmeric (g)	Salt (g)	Water (g)	Pearl glitter (g)	Preservative (mL)
4. Formula 2 of the Turmeric Herbal Liquid Soap (F1T)	1,000	-	0.09	250	1,000	50	5

ผลการวิจัย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระในใบตะไคร้และขมิ้นชันและเตรียมสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชันความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและพัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชันและศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. ผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระในใบตะไคร้และขมิ้นชันและเตรียมสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชัน

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากใบตะไคร้และขมิ้นชัน พบว่าตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในใบตะไคร้และขมิ้นชัน คือ เอทานอล โดยมีการรายงานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) อยู่ระหว่าง 8.47–96.7 ppm^{4,9-11} ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้ในการเตรียมสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชัน พบว่า สารสกัดเอทานอลใบ

ตะไคร้มีสีเขียวเข้ม ชื่นเหนียว มีกลิ่นเฉพาะตัวและสารสกัดเอทานอลขมิ้นชันมีสีส้มเข้ม ชื่นเหนียวเป็นก้อน มีกลิ่นฉุนและได้สารสกัดเอทานอลใบตะไคร้และขมิ้นชันร้อยละ 2.45 และ 1.90 โดยน้ำหนักตามลำดับ

2. ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชัน

จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชันด้วยวิธี DPPH และค่า IC_{50} จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดและร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สารสกัดใบตะไคร้มีค่า IC_{50} เท่ากับ 19 ppm และสารสกัดขมิ้นชันมีค่า IC_{50} เท่ากับ 32 ppm ตามลำดับ จากผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชันแสดงให้เห็นว่าขมิ้นชันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดใบตะไคร้

3. ผลการพัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชันและศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน

จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชัน พบว่าค่า IC_{50} ของสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชันมีค่า 19 และ 32 ppm คณะผู้วิจัยได้พัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด ๆ ละ 2 สูตร ดัง Table 1 โดยสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้สูตรที่ 1 (F1L) และ 2 (F2L)

มีความเข้มข้นของสารสกัด 19 และ 29 ppm ตามลำดับ และสบู่เหลวขมิ้นชันสูตรที่ 1 (F1T) และ 2 (F2T) ซึ่งมีความเข้มข้นของสารสกัด 32 และ 42 ppm ตามลำดับ สบู่สมุนไพรทั้ง 4 สูตร แสดงดัง Figure 1



Figure 1. Pictures of 4 herbal liquid soap formulations

จากการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อสบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 4 สูตร ประกอบด้วยประเด็นในการประเมิน คือ สี ลักษณะของเนื้อสัมผัส กลิ่น การล้างฟองออก และความพึงพอใจของผู้ใช้ในภาพรวม โดยมีกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรจำนวน 50 คน ที่ได้มาจากการสุ่ม โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ

ผลการประเมินความพึงพอใจ พบว่า ผู้ตอบแบบประเมินประกอบด้วยเพศหญิงร้อยละ 75 และเพศชายร้อยละ 25 โดยมีช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปี ร้อยละ 15 อายุระหว่าง 20-30 ร้อยละ 37.5 อายุระหว่าง 31-40 ร้อยละ 15 อายุระหว่าง 41-50 ปี ร้อยละ 20 และอายุ 50 ปีขึ้นไปร้อยละ 12.5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 4 สูตร แสดงดัง Table 2

Table 2 The results of the testing of herbal liquid soap's user satisfaction for the 4 formulations

Assessment Items	Evaluation data regarding user satisfaction using liquid soap		
	Mean	Standard deviation	Interpretation
Formula 1 Lemongrass herbal liquid soap (F1L)			
1 color	3.75	0.79	very
2 characteristics of texture	4.13	0.78	very
3 odor	3.63	0.69	very

Table 2 The results of the testing of herbal liquid soap's user satisfaction for the 4 fomulations (continue)

Assessment Items		Evaluation data regarding user satisfaction using liquid soap		
		Mean	Standard deviation	Interpretation
4	remove the bubbles	3.58	0.72	very
5	overall satisfaction	3.77	0.51	very
Formula 2 Lemongrass herbal liquid soap (F2L)				
1	color	3.13	0.93	moderate
2	characteristics of texture	4.13	0.78	very
3	odor	3.50	0.87	very
4	remove the bubbles	3.43	0.62	very
5	overall satisfaction	3.55	0.70	very
Formula 1 Turmeric herbal liquid soap (F1T)				
1	color	3.75	0.86	very
2	characteristics of texture	3.08	0.75	moderate
3	odor	3.43	0.86	very
4	remove the bubbles	3.50	0.52	very
5	overall satisfaction	3.44	0.71	very
Formula 2 Turmeric herbal liquid soap (F2T)				
1	color	4.06	0.68	very
2	characteristics of texture	3.35	0.69	very
3	odor	3.26	0.61	moderate
4	remove the bubbles	3.73	0.50	very
5	overall satisfaction	3.60	0.66	very

จาก Table 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 4 สูตรจากกลุ่มตัวอย่าง ผู้ใช้มีความพึงพอใจในภาพรวมต่อสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้สูตร F1L F2L F1T และ F2T มีค่า $3.77 \pm .51$, 3.55 ± 0.70 , 3.44 ± 0.71 และ 3.60 ± 0.66 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับมากทั้ง 4 สูตร

ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้สบู่เหลวทั้ง 4 สูตร พบว่า เมื่อพิจารณาสบู่เหลวสมุนไพรสูตร

F1L พบว่าสูตร F1L ผู้ใช้มีความพึงพอใจทุกด้านในระดับมาก สูตร F2L ผู้ใช้มีความพึงพอใจในลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นและการล้างฟองออกในระดับมาก และพึงพอใจต่อสีในระดับปานกลาง สูตร F1T ผู้ใช้มีความพึงพอใจด้านสี กลิ่นและการล้างฟองออกในระดับมากและพึงพอใจต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในระดับปานกลาง และสูตร F2T ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อสี ลักษณะเนื้อสัมผัสและการล้างฟองออกใน

ระดับมาก พึงพอใจต่อกลิ่นในระดับปานกลาง และความพึงพอใจในภาพรวมของสบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 4 สูตร อยู่ในระดับมาก ซึ่งผู้ใช้มีข้อเสนอแนะในด้านการล้างฟองออกค่อนข้างยากและจากการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลทางเดียว (One – way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติ t-test (t – test independent) พบว่า สบู่เหลวสูตร F1L F2L และ F2T ผู้ใช้มีความพึงพอใจในภาพรวมมากกว่าสบู่เหลวสูตร F1T

อภิปรายผล

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบตะไคร้และขมิ้นชันด้วยเอทานอล พบว่า สารสกัดเอทานอลของใบตะไคร้มีค่า IC_{50} เท่ากับ 19 ppm และสารสกัดเอทานอลของขมิ้นชันมีค่า IC_{50} เท่ากับ 32 ppm ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลฉัตร อ่องมะลิและคณะ⁴ และรัตนา เพ็งเพระ และคณะ¹² ซึ่งได้ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลของใบตะไคร้พบว่ามีค่า IC_{50} ระหว่าง 8.47–96.7 ppm และงานวิจัยของยามิละ ดอแมและคณะ¹⁰ และณัฐวรรณ วรรณมณีและคณะ⁹ ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลของขมิ้นชันพบว่ามีค่า IC_{50} ระหว่าง 0.10-22.21 ppm ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วสูงทำให้สารสกัดเอทานอลของพืชสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด มีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันหลายชนิดจึงส่งผลให้ค่า IC_{50} ของสารสกัดเอทานอลใบตะไคร้และขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jyoti J และคณะ ที่ศึกษาการประเมินคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลชีพของฟิล์มเปลือกสับปะรดที่อุดมไป

ด้วยโพลีฟีนอล-โคโคซาน พบว่า ปริมาณฟีนอลรวมของสารสกัดเอทานอลของเปลือกสับปะรด 11.1 ± 0.82 mg GAE/g, 3.86 ± 0.4 mg Quercetin/g ซึ่งสูงกว่าสารสกัดเมทานอลที่พบปริมาณฟีนอลรวม 7.98 ± 0.55 mg GAE/g, 2.37 ± 0.13 mg Quercetin/g¹³ และงานวิจัยของ Marwa Ezz El-Din และ Randah Miqbil A. ที่ศึกษาคุณสมบัติการต้านเชื้อราและสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชันผึ้ง พบว่า สารสกัดเอทานอลของชันผึ้งที่ความเข้มข้น 0.5% 1.0% และ 1.5% โดยน้ำหนักพบสารประกอบฟีนอลิกรวมทั้งหมด 11 ชนิด¹⁴ และจากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายในการสกัดทำให้ได้สารสกัดที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและสามารถนำมาประยุกต์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวสมุนไพรได้ เมื่อผู้วิจัยได้พัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชันจำนวน 4 สูตรและนำมาศึกษาความพึงพอใจจากผู้ใช้สบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 4 สูตร พบว่าผู้ที่มีความพึงพอใจต่อสบู่เหลวสมุนไพรสูตร F1L, F2L, F1T และ F2T ในระดับมากและจากการศึกษาความพึงพอใจของสบู่สูตร F1L พบว่าสบู่สูตรนี้มีผู้ที่มีความพึงพอใจทุกด้านในระดับมากและมีความโดดเด่นเรื่องของลักษณะของเนื้อสัมผัสเป็นพิเศษ อาจเนื่องมาจากสบู่สูตร F1L นี้มีการเติมสารสกัดตะไคร้ในปริมาณน้อยกว่าสูตร F2L และสารสกัดตะไคร้เป็นสารสกัดที่เมื่อผสมลงในสูตรสบู่เหลวพื้นฐานแล้วไม่มีสีซึ่งส่งผลต่อความดึงดูดใจของผู้ใช้สำหรับสบู่สูตร F2L มีความโดดเด่นเรื่องของลักษณะของเนื้อสัมผัสเช่นเดียวกับสูตร F1L และพบว่าผู้ที่มีความพึงพอใจต่อสีในระดับปานกลาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสกัดใบตะไคร้ที่ได้เมื่อนำมาผสมในสูตรของสบู่ไม่มีสี ดังนั้นในการนำสารสกัดใบตะไคร้

ไปพัฒนาเป็นสบู่เหลวสมุนไพรอาจมีการเติมสี เพื่อเพิ่มความน่าสนใจของสบู่ อาจทำให้ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากขึ้น สบู่สูตร F1T มีความโดดเด่นเรื่องของสี เนื่องจากสีของสารสกัดขมิ้นที่มีสีเหลืองและผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในระดับปานกลาง อาจเนื่องจากการเติมสารสกัดขมิ้นซึ่งมีสีเหลืองค่อนข้างเข้มเมื่อนำมาผสมร่วมกับสูตรพื้นฐานของสบู่ที่มีการผสมผงไข่มุกอาจทำให้ความพึงพอใจต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผู้ใช้ส่วนใหญ่ น้อยลง และสบู่สูตร F2T มีความโดดเด่นเรื่องสี เช่นเดียวกันกับสูตร F1T แต่ผู้ใช้พึงพอใจต่อกลิ่นในระดับปานกลาง อาจเป็นเพราะมีการผสมสารสกัดขมิ้นในปริมาณที่มากขึ้นจึงส่งผลให้กลิ่นของสบู่เหลวสมุนไพรสูตร F2T นี้มีกลิ่นของสมุนไพรที่จุนกว่า และสำหรับการล้างฟองออกของสบู่เหลวสมุนไพรทั้ง 4 สูตร ผู้ใช้มีข้อเสนอแนะว่าควรปรับปรุงเรื่องการล้างฟองออกให้ง่ายขึ้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่าอาจเนื่องมาจากสูตรพื้นฐานของสบู่เหลวที่นำมาใช้เป็นต้นตำรับสูตรในการทำสบู่เหลวครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ N70 หรือ Texapon N70 หรือ sodium lauryl ether sulfate เป็นสารลดแรงตึงผิว ประจุลบ มีคุณสมบัติในการทำทำความสะอาดได้ดี และทำให้เกิดฟองได้เร็วอาจใช้ในการปริมาณมาก แต่หากลดปริมาณการใช้ N70 ให้เหมาะสม คาดว่า จะส่งผลให้การล้างฟองของสบู่สมุนไพรออกง่ายขึ้น

สรุปผลการวิจัย

สารสกัดเอทานอลจากใบตะไคร้และขมิ้นชัน สามารถยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 19 ppm และ 32 ppm ตามลำดับ และพัฒนาสูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้และขมิ้นชัน จำนวน 4 สูตร

ประกอบด้วย สูตรสบู่เหลวสมุนไพรใบตะไคร้ 2 สูตร ที่ผสมสารสกัดเอทานอลจากใบตะไคร้ 32 ppm (สูตร F1L) และ 42 ppm (สูตร F2L) ตามลำดับ และสบู่เหลวสมุนไพรขมิ้นชัน 2 สูตร ที่ผสมสารสกัดเอทานอลจากขมิ้นชัน 19 ppm (สูตร F1T) และ 29 19 ppm (สูตร F2T) ppm ตามลำดับ จากการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสบู่เหลวสมุนไพร พบว่าสบู่เหลวสมุนไพรสูตร F1L, F2L และ F2T ผู้ใช้มีความพึงพอใจในภาพรวมมากกว่าสบู่เหลวสมุนไพรสูตร F1T

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้การสนับสนุนการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. คณะเภสัชศาสตร์. ข้อมูลพืชสมุนไพร [อินเทอร์เน็ต]. มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2565 [เข้าถึงเมื่อ 25 มิถุนายน 2565]. เข้าถึงได้จาก https://pharmacy.su.ac.th/herbmed/herb/text/herb_detail.php?herbID=96.
2. ปณาลี เสมื่อน. ตะไคร้ ยากันครีว สมุนไพรใกล้โรค. กรุงเทพฯ: ไทยควอลิตี้บุคส์; 2554.
3. เอนก หาลี่, บุญยกฤต รัตนพันธุ์. การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจากพืชผักสมุนไพรพื้นบ้าน 15 ชนิด. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร 2560;40:283-93.
4. กมลฉัตร อ่องมะลิ, อัจฉรา แสงจันทร์, สลิล ชื่นโรจน์. การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ในระบบ

- ทางเดินอาหารและการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากใบตะไคร้. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2560;22:42–54.
5. Palamutoglu R, Kasnak C, Dursun M, Nur Ünalı R, Özkaplan N. Determination of phenolic contents and antioxidant activities of infusion prepared from lemongrass. *Carpath J Food Sci Technol* 2020;14:98–109.
 6. พิมพ์ชนก โล่ห์ทองคำ, วณิชยา คล่องแคล่ว, เนาวรัตน์ แจ่มใส, มณฑล วิสุทธิ.ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus intermedius* ของสารสกัดจากพืชสมุนไพร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2563;3:57–70.
 7. ปานทิพย์รัตน์ศิลปกิจชาญ, เกตุแก้ว จันทร์จรัส, ภรณ์ทิพย์ นราแหว, อุมารภณ์ ผ่องใส. การพัฒนาสบู่เหลวจากสมุนไพรไทยและทดสอบฤทธิ์เบื้องต้นในการต้านทานต่อเชื้อสแตฟฟีโลคอคคัสออเรียสที่ดื้อยาเมทิซิลิน (MRSA). วารสารมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติวิชาการ 2557;18:47–60.
 8. นงเยาว์ เทพยา. ความมหัศจรรย์ของสมุนไพร. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 2549;1:156–64.
 9. ณัฐวรรณ วรรณมณี, ภัทรตรา สิริวัฒนารกุล, สุกัญญา มณี, อนงค์นาถ มณีโชติ, วิทวัส หมดอี, กุศลมาลย์ น้อยผา. การศึกษาสารพฤษเคมีเบื้องต้น ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพรเพื่อพัฒนาเป็นครีมสมุนไพรบำรุงมือ. วารสารหมอยาไทยวิชัย 2564;7:31–44.
 10. ยามีละ ดอกแหม, ลัดดาวัลย์ ชูทอง. การพัฒนาเจลจากสารสกัดลูกประคบสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. วารสารศิลปการจัดการ 2564;5:862–76.
 11. ศุภรัตน์ ดวนใหญ่, ชารินทร์ แจงกลาง, อัจฉรา แก้วน้อย, เพชรน้ำผึ้ง รอดโพธิ์, อาวุธ หงษ์ศิริ. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดพิกัดตรีสมอ พิกัดตรีสัตถุลา พิกัดตรีผลสมภูฐาน. วารสารหมอยาไทยวิชัย 2564;7:93–104.
 12. รัตนา เพ็งเพระ, ภาวณี ศิลานะ, สันธยา บุญรุ่ง, ปกฉัตร กุศลกรรมมณ. ผลของสารต้านอนุมูลอิสระและสารสกัดหยาบเนื้อมะพร้าวร่วมกับสมุนไพรพื้นบ้าน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2565;21:208–24.
 13. Jyoti J, Ayon T, Chakkaravarthi S, Bhaswati B. Assessment of antioxidant and antimicrobial property of polyphenol-rich chitosan-pineapple peel film. *J Food Qual* 2022;1-10.
 14. Marwa Ezz El-Din I, Randah Miqbil A. Anti-fungal and antioxidant properties of propolis (bee glue) extracts. *Int J Food Microbiol.* 2022;361:1-7.

การตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer

Bloodstain Detection on Washed Fabrics with Different Laundry Detergents using the Kastle-Meyer Method

ธารารัตน์ แจ่มจรัส^{1*} และ นพรุจ ศักดิ์ศิริ²

Thararat Jaemjamras^{1*} and Noparuj Saksiri²

¹หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

²ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 2 ชลบุรี

¹ Forensic Science program, Faculty of science, Silpakorn University, Nakhon Pathom

² Police Forensic Science Center 2, Chonburi

*Corresponding author; E-mail: thararat.jaemjamras@gmail.com

Received: 02 February 2023 /Revised: 15 March 2023 /Accepted: 08 May 2023

บทคัดย่อ

คราบเลือดบนเสื้อผ้าถือเป็นวัตถุพยานที่เป็นกุญแจสำคัญสำหรับการสืบสวนสอบสวน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคดีฆาตกรรม การพบคราบเลือดบนเสื้อผ้าต้องสงสัยสามารถเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยเข้ากับผู้เสียหาย และสถานที่เกิดเหตุ จนกระทั่งนำไปสู่การจับกุมคนร้ายได้ แต่ในบางครั้งผู้ก่อเหตุอาจใจปึกปิดการกระทำความผิดโดยการนำเสื้อผ้าเป็นคราบเลือดไปซักทำความสะอาด ทำให้ไม่สามารถมองเห็นคราบเลือดบนเสื้อผ้าได้ ซึ่งอาจทำให้ผู้เก็บรวบรวมวัตถุพยานมองข้ามพยานหลักฐานชิ้นสำคัญนี้ไป งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าเป็นคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยพบว่าชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 โดยผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว และผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าจัดคราบ ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลจากความแตกต่างในการจัดคราบของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิด ในขณะที่ชนิดของผ้าที่แตกต่างกัน (ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%) และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน (0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน) มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้สามารถช่วยในการวิเคราะห์คราบเลือดหรือคราบที่คาดว่าเป็นคราบเลือดบนเสื้อผ้าที่ผ่านการซักในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งถือเป็นประโยชน์สำหรับกระบวนการสืบสวนสอบสวน

คำสำคัญ: คราบเลือด วิธีทดสอบ Kastle-Meyer ผลิตภัณฑ์ซักผ้า

Abstract

Bloodstains on clothing are important witnesses in investigations, especially in murder cases. Bloodstains on a suspect's clothes can connect the suspect to the victim and the scene of the crime, leading to an arrest. Sometimes, perpetrators deliberately cover up their crimes by washing their clothes stained with blood to remove any visible blood stains. It may cause the collectors to overlook this important piece of evidence. Therefore, this study aims to compare the discoloration times of the Kastle-Meyer reagent on blood-stained fabrics washed with different detergents and the period after washing. The results revealed that different laundry detergents had different discoloration times of Kastle-Meyer reagent at a statistically significant 0.05 level. Bleach and active oxygen laundry detergent had the highest time for the reagent color change, followed by silver nanoparticles laundry detergent, standard laundry detergent and stain remover, respectively. This may be due to differences in stain removal between detergents. While different fabric types (100% cotton, 100% polyester, and 65% polyester mixed with 35% cotton) and length (0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21, and 28 days) had no difference in color change period of the reagents. This research could help the analysis of bloodstains or similar bloodstains on washed clothes at the crime scene and it is useful for investigative processes.

Keyword: Bloodstain, Kastle-Meyer test, Laundry detergent

บทนำ

ปัญหาอาชญากรรมเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในสังคมทุกยุคทุกสมัย ไม่ว่าจะเป็นลักทรัพย์ ยาเสพติด ฆาตกรรม ทำร้ายร่างกาย ข่มขืนกระทำชำเรา และอื่น ๆ โดยคดีที่สร้างความสะเทือนขวัญให้กับสังคมมากที่สุด คือ คดีความผิดเกี่ยวกับชีวิตร่างกาย และเพศ ซึ่งฐานความผิดดังกล่าวรวมถึงคดีฆ่าผู้อื่น ทำร้ายร่างกายผู้อื่นถึงแก่ความตาย พยายามฆ่า ทำร้ายร่างกาย ข่มขืนกระทำชำเรา และคดีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากสถิติฐานความผิดคดีอาญา (คดี 4 กลุ่ม) หน่วยงานทั่วประเทศ ที่เก็บรวบรวมการรับแจ้งเหตุตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 ถึง 31 ตุลาคม 2564 คดีฐานความผิดเกี่ยวกับชีวิตร่างกาย และเพศมีการรับแจ้ง 12,773 คดี แบ่งเป็นคดีฆ่าผู้อื่น 937 คดี, ทำร้ายร่างกายผู้อื่นถึงแก่ความ

ตาย 360 คดี พยายามฆ่า 1,457 คดี ทำร้ายร่างกาย 2,685 คดี ข่มขืนกระทำชำเรา 1,341 คดี และคดีอื่น ๆ 5,993 คดี¹ ซึ่งการก่อเหตุลักษณะดังกล่าว หลักฐานสำคัญที่อาจหลงเหลืออยู่ในที่เกิด หรือแม้กระทั่งติดไปกับผู้เสียหาย หรือผู้ก่อเหตุ คือ “คราบเลือด”

คราบเลือด ถือเป็นวัตถุพยานที่เป็นกุญแจสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสามารถใช้การยืนยันตัวบุคคลได้ผ่านการตรวจพิสูจน์ดีเอ็นเอ และจากการประเมินขอบเขต ลักษณะคราบเลือด ปริมาณ รูปร่าง และการกระจายตัวของเลือดในที่เกิดเหตุ ยังสามารถนำไปสู่การจำลองเหตุอาชญากรรมขึ้นมาใหม่ได้ ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ลักษณะของคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุเท่านั้นที่ต้องคำนึงถึง คราบเลือดที่ติดไปกับเสื้อผ้าของผู้ที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ดังกล่าวทั้ง

ผู้ต้องสงสัย และผู้เสียหายก็สำคัญไม่แพ้กัน² แต่ในหลายคดีผู้ก่อเหตุอาจมีการล้างทำความสะอาดสถานที่เกิดเหตุ รวมไปถึงซักเสื้อผ้าที่ใช้ในการก่อเหตุเพื่ออำพรางคดี ให้เหมือนว่าตนไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับคดีนั้น ๆ ทำให้ผู้ตรวจสถานที่เกิดเหตุหรือผู้ตรวจพิสูจน์ในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถมองเห็นคราบเลือดที่อยู่บนเสื้อผ้านั้นและอาจมองข้ามวัตถุพยานชิ้นสำคัญนี้ไป ทั้งนี้การตรวจพิสูจน์คราบเลือดและคราบเลือดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (คราบเลือดแฝง) เบื้องต้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธี ทดสอบ Kastle-Meyer (KM) หรือวิธี Phenolphthalein วิธี Leucomalachite green วิธี Tetramethylbenzidine วิธี Orthotolidine วิธี Luminol และวิธี Bluestar เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองของ Cox³ แสดงให้เห็นว่า การทดสอบคราบเลือดด้วยวิธี Tetramethylbenzidine และวิธี Orthotolidine มีความไวสูงแต่มีความจำเพาะน้อยกว่าวิธี Phenolphthalein สอดคล้องกับผลการทดลองของ สวรรสุ ปริมโน⁴ ที่พบว่าวิธีการทดสอบคราบเลือดด้วยวิธี Tetramethylbenzidine และ Phenolphthalein สามารถตรวจหาคราบเลือดได้ดีกว่าวิธี Luminol และ Bluestar

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซัก เช่น งานวิจัยของ Sapan และคณะ⁵ ได้ศึกษาการระบุตัวบุคคลจากคราบเลือดที่ผ่านการซักด้วยเครื่องซักผ้าที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าคราบเลือดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40°C และ 60°C ยังสามารถสังเกตเห็นคราบเลือดได้ด้วยตาเปล่า แต่คราบเลือดบนผ้าไนลอนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ที่อุณหภูมิ 60°C ทั้งนี้ผ้าฝ้าย และ

ผ้าไนลอนที่ซักด้วยอุณหภูมิ 90°C ไม่สามารถสังเกตเห็นคราบเลือดได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามการตรวจสอบคราบเลือดเบื้องต้นด้วย Luminol ให้ผลบวกกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40°C, 60°C และ 90°C ในขณะที่ผ้าไนลอนให้ผลบวกที่ 40°C และ 60°C เท่านั้น และเมื่อนำคราบเลือดดังกล่าวไปตรวจสอบรูปแบบดีเอ็นเอ พบว่าทั้งผ้าฝ้าย และผ้าไนลอนสามารถตรวจพบรูปแบบดีเอ็นเอเพียงพอที่จะสามารถระบุยืนยันตัวบุคคลเมื่อผ่านการซักที่อุณหภูมิ 40°C และ 60°C แสดงให้เห็นว่าแม้เสื้อผ้าเปื้อนเลือดจะผ่านการซักที่อุณหภูมิสูงถึง 60°C ยังสามารถตรวจพบคราบเลือดด้วยวิธีทดสอบเบื้องต้นได้ นำไปสู่การตรวจวิเคราะห์ดีเอ็นเอและระบุยืนยันตัวผู้เสียหายรวมทั้งคนร้ายได้ในที่สุด ดังนั้นการตรวจหาคราบเลือดเบื้องต้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคัดเลือกวัตถุพยานและระบุตำแหน่งบริเวณที่สามารถตรวจหาดีเอ็นเอได้ อย่างไรก็ตามปัจจุบันเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ซักผ้ามีการพัฒนาไปมากเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานของผู้บริโภคที่ต้องการประสิทธิภาพในการขจัดคราบฝังแน่นรวมทั้งกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้นโดยการเพิ่มเติมสารบางอย่างลงไปในผลิตภัณฑ์ซักผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซักผ้า เช่น สารกำจัดเชื้อโรค สารขจัดคราบ สารเพิ่มความหอม เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดคราบเลือดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิด ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่างานวิจัยของ Sapan และคณะ⁵ และวิภาวรรณ และคณะ⁶ มุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบคราบเลือดหลังซักบนผ้าต่างชนิดเท่านั้น ยังไม่มีการเปรียบเทียบการตรวจพบคราบเลือดหลังซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดที่วางขายในประเทศไทย รวมทั้งยังไม่มีการศึกษา

ระยะเวลาหลังซักต่อการตรวจพบคราบเลือดด้วยวิธีทดสอบ Kastle-Meyer ทั้งนี้ยังวิเคราะห์ผลการทดสอบเป็นผลบวกหรือลบเท่านั้น ไม่มีการศึกษาระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาการตรวจหาคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดด้วยวิธี Kastle-Meyer โดยเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบดังกล่าว ภายใต้เงื่อนไขชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซักที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเก็บตัวอย่างวัตถุพยานที่เกี่ยวข้องในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในกระบวนการพิสูจน์หลักฐานและการสืบสวนสอบสวนต่อไป

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมเครื่องซักผ้า

เพื่อป้องกันการตกค้างของผลิตภัณฑ์ซักผ้าก่อนการทดลอง ในงานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดเครื่องซักผ้าก่อนการใช้งานทุกครั้ง โดยล้างช่องใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้าให้สะอาดปราศจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าปนเปื้อน จากนั้นกดปุ่มเริ่มทำงานโดยเลือกโปรแกรมการซักที่ระยะเวลา 39 นาที อุณหภูมิ 40°C และ ความเร็วรอบ 1,200 rpm จำนวน 1 ครั้ง เพื่อขจัดผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่อาจหลงเหลืออยู่จากการซักก่อนหน้า

2. การเตรียมผ้าตัวอย่าง

ก่อนเริ่มการทดลองนำผ้า 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ขนาด 9x21 ซม. ชนิดละ 63 ผืน รวม 189 ผืน มาซักด้วยเครื่องซักผ้าที่เตรียมไว้สำหรับการทดลองโดยไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ซัก

ผ้า จากนั้นเลือกโปรแกรมซัก Mix Fabric อุณหภูมิ 60°C ความเร็วรอบ 1,400 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำความสะอาดและกำจัดสารเคลือบบนผ้าก่อนการใช้งาน จากนั้นจึงให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และนำตัวอย่างเลือดของผู้วิจัย ซึ่งเก็บในหลอดเก็บตัวอย่างที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดชนิด EDTA มาหยดลงบนผ้าตัวอย่าง ชนิดละ 54 ผืน โดยหยดบริเวณกึ่งกลางผ้าให้มีระยะห่างเท่า ๆ กันจำนวน 3 จุด/ผืน (สำหรับการทดลอง จำนวน 3 ซัก) ปริมาตรจุดละ 20 ไมโครลิตร และหยดน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI water) ลงบนผ้าชนิดละ 9 ผืน จำนวน 3 จุด/ผืน ปริมาตรจุดละ 20 ไมโครลิตร ลงบนผ้าที่เตรียมไว้สำหรับตัวอย่างควบคุม และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน

3. การซักผ้าตัวอย่าง

3.1 นำผ้าตัวอย่างชนิดละ 9 ผืน มาซักในเครื่องซักผ้าชนิดฝาหน้าที่เตรียมไว้ และใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้า 5 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าฟลอร์ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน โดยเติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าลงในช่องใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้า 1 ชนิดต่อ 1 รอบการซัก กำหนดโปรแกรมการซักที่ระยะเวลา 39 นาที อุณหภูมิ 40 °C และ ความเร็วรอบ 1,200 rpm เมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการทำงานของเครื่องซักผ้า นำผ้าออกจากเครื่อง และเตรียมเครื่องซักผ้าใหม่สำหรับการซักรอบถัดไป จากนั้นนำผ้าตัวอย่างชนิดละ 9 ผืน มาซักในเครื่องซักผ้าที่เตรียมไว้โดยเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้าจนครบ 5 ชนิด

3.2 กำหนดให้ตัวอย่างที่ผ่านการผ้าหยดเลือด ชนิดละ 9 ผืน และน้ำปราศจากไอออน ชนิดละ

9 ผืน ที่ซักโดยไม่เติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าเป็นตัวอย่างควบคุมบวก และลบ ตามลำดับ (ดัดแปลงจากวิธีการทดลองของ Daud และ Sundrum⁷)

4. การทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ

Kastle-Meyer

4.1 เมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการซัก นำผ้าตัวอย่างทดลอง ที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าทั้ง 5 ชนิด รวมทั้งตัวอย่างควบคุมบวก และตัวอย่างควบคุมลบที่ผ่านการซัก 1 ผืนต่อชนิดผ้า มาทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ทันทีหลังซัก (วันที่ 0) โดยบันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้อง Canon EOS 80D อัตราการบันทึกภาพเท่ากับ 30 ภาพ/วินาที กำหนดค่าความไวแสง (ISO) 3200 รูรับแสง (F) 8.0 และ ค่าความเร็วชัตเตอร์ (speed shutter) 1/160 วินาที จากนั้นหยุด Phenolphthalein working solution และทิ้งไว้ 10 วินาที เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการเปลี่ยนสีเนื่องจากสีของตัวอย่าง แล้วจึงหยด 3% H_2O_2 ลงบนคราบเลือด สังเกตการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอมม่วงอย่างชัดเจน จึงกดหยุดการบันทึกภาพ

4.2 นำผ้าที่เหลือจากข้อ 4.1 ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ให้ผ้าสัมผัสแสงแดดโดยตรง และนำผ้าที่ผ่านการซักแล้วที่เก็บไว้เป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วันมาทดสอบหาคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ตามข้อ 4.1

5. การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

5.1 นำไฟล์ภาพเคลื่อนไหวจากการทดสอบคราบเลือดของตัวอย่างผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าทั้ง 5 ชนิด ตัวอย่างควบคุมบวก และลบ ที่ระยะเวลา

หลังซัก 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน มาแปลงไฟล์เป็นภาพนิ่ง และนำภาพแรกที่ 3% H_2O_2 หยดลงบนผ้า และภาพถัดจากภาพดังกล่าวไปวิเคราะห์ค่าสี CIELAB เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า L^* a^* และ b^* แต่ละพิกเซล โดยใช้ค่าสีที่เป็นเกณฑ์จากการวิเคราะห์ตัวอย่างควบคุมบวกเป็นค่าที่ใช้ระบุถึงการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ หากพบภาพใดเป็นภาพแรกที่มีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเท่ากับค่าเกณฑ์ที่กำหนด ให้จัดบันทึกเลขภาพและนำไปคำนวณหาระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ ดังสมการ

ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer (วินาที) = $(I_p - I_0) / (30 \text{ ภาพ/วินาที})$

I_p แทน เลขภาพแรกที่น้ำยาทดสอบเปลี่ยนสีเท่ากับค่าเกณฑ์

I_0 แทน เลขภาพแรกที่ 3% H_2O_2 หยดลงบนผ้า

5.2 การแปลผลระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer⁸ กำหนดให้ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ

0 - 15 วินาที เป็น ผลบวก หมายถึง ตรวจพบคราบเลือด

มากกว่า 15 วินาที เป็น ผลลบ หมายถึง ตรวจไม่พบคราบเลือด

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลโดยใช้การทดสอบค่าสถิติด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov Test หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ในการทดสอบค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาล้างซัก ความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่โดยวิธีของ Scheffe แต่หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric statistic) คือ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ด้วยวิธี Dunn's test

ผลการศึกษา

ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ 1. การวิเคราะห์ค่าสีที่ใช้เป็นเกณฑ์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer 2. การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าตัวอย่าง และ 3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. การวิเคราะห์ค่าสีที่ใช้เป็นเกณฑ์การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer

จากการวิเคราะห์ค่าสี CIELAB ในตัวอย่างควบคุมพบพบว่า ค่า L^* และ b^* ลดลง ในขณะที่ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ทั้ง 3 ชนิดผ้า ผู้วิจัยจึงใช้ค่า a^* เพียงค่าเดียวในการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบค่าสีจำแนกตามชนิดผ้าพบว่า ค่า a^* = 1-4 เป็นค่าสีของบริเวณผ้าที่น้ำยาทดสอบซึมไปไม่ถึง ซึ่งหมายถึงค่ารบกวน (background noise) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า a^* = 6 เป็นเกณฑ์ในการระบุการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer เนื่องจากน้ำยาทดสอบมีการเปลี่ยนสีจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอมม่วงอ่อนอย่างชัดเจนและใกล้เคียงกับการมองเห็นด้วยตาเปล่าทั้ง 3 ชนิดผ้า แสดงดัง Figure 1.

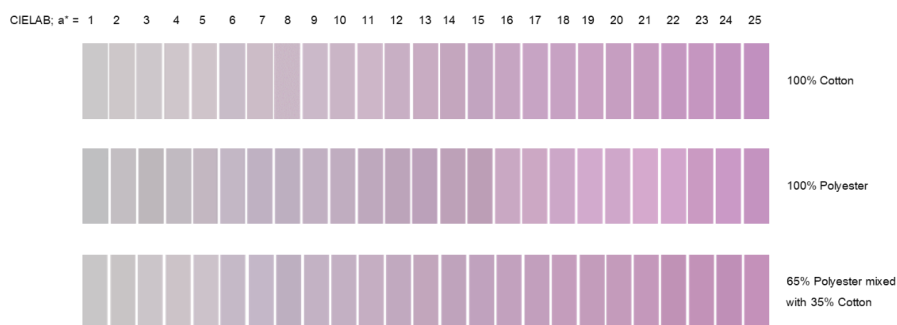


Figure 1. Comparison of a^* intensity on positive control of 100% cotton, 100% polyester and 65% polyester mixed with 35% cotton

2. การวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าตัวอย่าง

เมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer บนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ชนิดของผ้าที่แตกต่างกัน และระยะเวลาหลังซักที่ต่างกัน โดยกำหนดค่า a^* = 6 เป็นค่าเกณฑ์ในการทดสอบ พบว่า ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขจัดคราบ

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยต่ำกว่า 15 วินาที ทั้ง 3 ชนิดผ้า ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 สามารถแปลผลการทดสอบได้เป็นผลบวก ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยสูงกว่า 15 วินาที ทั้ง 3 ชนิดผ้า

ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 สามารถแปลผลการทดสอบได้เป็นผลลบ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจนมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเฉลี่ยต่ำกว่า 15 วินาที บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 เท่านั้น สามารถแปล

ผลได้เป็นผลบวก โดยผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีเฉลี่ยสูงกว่า 15 วินาที ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 สามารถแปลผลการทดสอบได้เป็นผลลบ แสดงดัง

Table 1.

Table 1. Average discoloration time of Kastle-Meyer reagent on different laundry detergents, fabrics and period after washing

table	detergent	Active oxygen			Stain remover			Bleach			Silver nanoparticles			Standard					
	fabric	C	P	PC	C	P	PC	C	P	PC	C	P	PC	C	P	PC			
0	mean	7.30(+)	36.31	45.53	0.19(+)	0.42(+)	0.11(+)	175.88	36.04	57.56	1.26(+)	3.14(+)	3.26(+)	0.97(+)	2.81(+)	2.70(+)			
	S.D.	0.12	4.35	3.17	0.07	0.07	0.04	24.64	3.37	1.47	0.05	0.02	0.11	0.06	0.07	0.15			
1	mean	164.52	39.32	57.17	0.14(+)	0.37(+)	0.18(+)	170.72	42.54	56.29	3.33(+)	3.24(+)	3.87(+)	1.26(+)	2.91(+)	2.81(+)			
	S.D.	34.73	3.47	12.54	0.02	0.03	0.02	48.20	5.54	2.18	0.03	0.10	0.09	0.05	0.13	0.15			
3	mean	164.99	43.70	57.17	0.20(+)	0.51(+)	0.17(+)	157.57	39.73	58.01	3.87(+)	4.09(+)	4.07(+)	1.40(+)	3.01(+)	3.03(+)			
	S.D.	46.23	2.14	12.54	0.06	0.05	0.03	29.38	5.46	5.61	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02	0.15			
5	mean	158.00	39.19	60.40	0.16(+)	0.51(+)	0.13(+)	205.36	45.48	58.10	3.98(+)	5.49(+)	4.08(+)	1.29(+)	3.16(+)	3.13(+)			
	S.D.	1.95	8.48	12.05	0.02	0.07	0.00	10.10	2.93	4.59	0.08	0.02	0.05	0.08	0.04	0.19			
7	mean	164.76	40.91	55.10	0.18(+)	0.42(+)	0.16(+)	204.54	44.14	59.12	4.67(+)	5.84(+)	4.08(+)	1.44(+)	3.20(+)	2.96(+)			
	S.D.	15.31	0.45	1.34	0.02	0.05	0.02	12.43	6.05	1.46	0.13	0.10	0.02	0.10	0.07	0.05			
9	mean	205.80	41.18	59.28	0.17(+)	0.53(+)	0.14(+)	195.03	42.29	52.50	5.96(+)	5.92(+)	4.03(+)	1.43(+)	3.11(+)	2.88(+)			
	S.D.	13.70	6.64	0.39	0.00	0.06	0.05	23.04	6.76	2.64	0.12	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07			
14	mean	205.69	49.07	55.37	0.20(+)	0.46(+)	0.19(+)	184.84	46.19	55.91	6.68(+)	5.98(+)	4.06(+)	1.43(+)	3.57(+)	3.01(+)			
	S.D.	13.19	3.55	6.37	0.00	0.07	0.05	8.74	7.73	2.19	0.05	0.04	0.02	0.07	0.09	0.16			
21	mean	207.43	44.03	61.30	0.17(+)	0.47(+)	0.17(+)	205.51	41.81	54.58	6.64(+)	5.94(+)	4.02(+)	1.31(+)	3.69(+)	3.07(+)			
	S.D.	9.74	9.22	7.09	0.03	0.09	0.03	5.53	1.84	3.08	0.08	0.07	0.02	0.02	0.16	0.18			
28	mean	187.82	42.21	57.97	0.17(+)	0.51(+)	0.12(+)	196.86	44.73	60.03	6.59(+)	5.91(+)	4.02(+)	1.21(+)	3.66(+)	2.96(+)			
	S.D.	5.25	9.19	12.81	0.03	0.08	0.02	4.38	6.12	4.04	0.02	0.05	0.04	0.02	0.08	0.05			
Total	mean	87.09			0.26(+)			95.98			4.59(+)			2.50(+)					
	N	81			81			81			81			81					
Chi-square								364.54											
df								4											
Sig.								0.000*											

Note: C = 100% cotton, P = 100% polyester, PC = 65% polyester mixed with 35% cotton, (+) = positive (< 15 second),

* Statistically significant difference level of 0.05

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผู้วิจัยขอแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่ การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล และการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ จำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ชนิดของผ้า และระยะเวลาหลังซัก ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล

เมื่อวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลโดยใช้การทดสอบสถิติ Kolmogorov-Smirnov Test พบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่มีการแจกแจงปกติ ($K-S = 0.301$, $p\text{-value} = 0.000$) ดังนั้นการทดสอบทางสถิติในงานวิจัยนี้จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ คือ Kruskal-Wallis Test ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ และทำการวิเคราะห์

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ด้วยวิธี Dunn's test

3.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ย

อันดับด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test พบว่าค่าเฉลี่ยอันดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเมื่อซักผ้าตัวอย่างด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงดัง Table 1. และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอันดับรายคู่ด้วยวิธี Dunn's test พบว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีเพียงผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว และผลิตภัณฑ์ซักผ้าฟลอร์ออกซิเจนเท่านั้นที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีไม่แตกต่างกัน แสดงดัง Table 2.

Table 2. Result of the post hoc Dunn's multiple comparisons test, showing the significance of different laundry detergents.

Laundry detergent	Active oxygen	Stain remover	Bleach	Silver nanoparticles	Standard
Active oxygen	-	0.000*	1.000	0.000*	0.000*
Stain remover	-	-	0.000*	0.000*	0.000*
Bleach	-	-	-	0.000*	0.000*
Silver nanoparticles	-	-	-	-	0.001*
Standard	-	-	-	-	-

*Statistically significant difference level of 0.05

ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับของระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดของผ้า (ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35%) และระยะเวลาหลังซัก (0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน) ด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test พบว่ามีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน (ชนิดของผ้า: $\chi^2 = 2.004$, p-value = 0.367, ระยะเวลาหลังซัก: $\chi^2 = 4.745$, p-value = 0.784)

อภิปรายผล

ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ 1. การวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า 2. การวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผ้า และ 3. การวิเคราะห์ตัวแปรระยะเวลาหลังซัก ดังนี้

1. การวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า

จากการวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้า ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าจัดคราบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน พบว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer แตกต่างกันไป เนื่องจากสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละประเภทต่างกัน ทำให้มีความสามารถในการขจัดคราบที่ต่างกันออกไป ดังนี้

1.1 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน ประกอบด้วย Sodium percarbonate ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความสามารถขจัดคราบจากธรรมชาติ เช่น คราบเลือดได้ดี อีกทั้งยังสามารถละลายในน้ำและแตกตัวได้ H_2O_2 ขณะซัก ผลการทดลอง พบว่า

ตรวจไม่พบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าว บนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 1-28 บนผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0-28 นั้น อาจเป็นเพราะปริมาณของ H_2O_2 ที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากขณะซักและคุณสมบัติของฮีโมโกลบินที่สามารถทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ได้ เมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวขณะซักพร้อมๆ กัน⁹ ทำให้ฮีโมโกลบินที่อาจเหลืออยู่บนผ้าที่ผ่านการซักไม่สามารถสลาย H_2O_2 ของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ได้ขณะทำการทดสอบ การเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจึงใช้เวลามากกว่า 15 วินาทีเนื่องจาก O_2 ในบรรยากาศหรือปัจจัยอื่น ๆ ทำปฏิกิริยากับน้ำยาทดสอบได้ช้า นอกจากนี้คุณสมบัติในการขจัดคราบได้ดีอาจเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณเลือดบนผ้าตัวอย่างลดลงจนไม่สามารถตรวจพบคราบเลือดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Howard และคณะ¹⁰ ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนเสื้อผ้าที่ผ่านการซักด้วย sodium percarbonate ที่อุณหภูมิ 24°C และ 40°C พบว่าที่อุณหภูมิ 40°C ตรวจไม่พบคราบโลหิตเมื่อทดสอบด้วย TMB, Luminol และ Bluestar Magnum ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบคราบเลือดเบื้องต้นเช่นเดียวกับ KM-Test และ Castelló และคณะ⁹ ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าพลังออกซิเจน (Neutrex™) โดยแช่ผ้าที่อุณหภูมิ 40°C เมื่อทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer พบว่าให้ผลเป็นลบ คือตรวจไม่พบคราบเลือด

ทั้งนี้การตรวจพบคราบเลือดบนผ้าฝ้าย 100% ที่ระยะเวลาหลังซักวันที่ 0 ในขณะที่ผ้า

2 ชนิดที่เหลือตรวจไม่พบคราบเลือดที่ระยะเวลาหลังซักดังกล่าวนั้น อาจเพราะผ้าฝ้ายผลิตจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้คราบสกปรกต่าง ๆ ยึดเกาะได้ดี สามารถดูดความชื้นได้มากทำให้แห้งช้าเมื่อเปียกชื้น ในขณะที่ผ้าโพลีเอสเตอร์ผลิตจากใยสังเคราะห์มีความมันเงาและลื่น ทำให้โปรตีนยึดเกาะบนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ได้ไม่ดี¹¹ และดูดความชื้นได้น้อยทำให้แห้งเร็วเมื่อเปียกชื้น¹² อาจทำให้ผ้าฝ้ายสามารถดูดซับน้ำและโมเลกุลฮีมोगلوبินไว้ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าอีก 2 ชนิดที่เหลือทำให้เกิดผลบวกกับน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ได้ ในขณะที่เดียวกันอาจมีผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวตกค้างอยู่ได้เช่นกัน เมื่อระยะเวลาหลังซักครบ 1 วัน ปฏิกริยาระหว่างฮีมोगلوبินและผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่เหลืออยู่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจึงใช้เวลานานมากกว่า 15 วินาที คือ ตรวจไม่พบคราบเลือด ขณะที่ผ้าโพลีเอสเตอร์และผ้าโพลีเอสเตอร์ผสมผ้าฝ้าย สามารถดูดซับความชื้นและโมเลกุลของฮีมोगلوبินได้น้อย จึงตรวจไม่พบคราบเลือดตั้งแต่วันที่ 0

1.2 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าซักผ้าซักผ้า ประกอบด้วย H_2O_2 ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer น้อยกว่า 15 วินาที หมายถึง ตรวจพบคราบเลือดบนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวซึ่งแตกต่างจากผลการตรวจคราบเลือดบนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าฟลัซออกซิเจนที่สามารถสลายตัวในน้ำได้ H_2O_2 นั้นอาจเป็นเพราะความเข้มข้นของ H_2O_2 ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าซักผ้าซักผ้าไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับ

ฮีมोगلوبินบนผ้าได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้ง H_2O_2 จัดเป็นสารฟอกขาวชนิดอ่อน¹² สามารถแตกตัวได้ Perhydroxyl anion (OH_2^-) เมื่อ pH ของสารละลายเป็นด่าง (pH 10-12) โดย OH_2^- เป็นสารประกอบสำคัญสำหรับการซักฟอกหรือขจัดคราบบนเสื้อผ้าเป็นคราบชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงคราบเลือด¹³ สอดคล้องกับข้อแนะนำในการใช้ผลิตภัณฑ์ระบุ “ใช้ร่วมกับผงซักฟอกหรือผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดน้ำ” เพื่อให้สภาวะในการซักเหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบดังกล่าวและสามารถขจัดคราบได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันต่อระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเท่านั้น จึงไม่มีการเติมผลิตภัณฑ์ซักผ้าอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซักตามคำแนะนำของผลิตภัณฑ์ จึงไม่เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวของ H_2O_2 อาจทำให้ไม่เกิด OH_2^- หรือเกิดน้อยจนไม่สามารถขจัดคราบเลือดบนผ้าได้ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าซักผ้าซักผ้าสามารถขจัดคราบได้น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าฟลัซออกซิเจน และเมื่อทำการทดสอบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ฮีมोगلوبินที่เหลืออยู่บนผ้าสามารถทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ของน้ำยาทดสอบได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถตรวจพบคราบเลือดได้บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดนี้

1.3 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ประกอบด้วย Sodium Hypochlorite ($NaOCl$) จัดเป็นสารฟอกขาวชนิดคลอรีนน้ำ จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าฟลัซออกซิเจน เนื่องจากเป็นสาร

ออกซิไดซ์ที่รุนแรง ปัจจุบันใช้เป็นสารทำความสะอาดสะสมทั้งฆ่าเชื้อโรคหลายชนิด โดยสารดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาได้กับสารประกอบชีวโมเลกุลที่หลากหลาย เช่น โปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน และดีเอ็นเอ¹⁴ ซึ่งเลือกถือเป็นสารชีวโมเลกุลอย่างหนึ่งซึ่งสามารถถูกกำจัดได้โดย Sodium Hypochlorite สอดคล้องกับผลการทดลองของ Edler และคณะ¹⁵ ที่ศึกษาผลของสารฟอกขาวกับการวิเคราะห์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนพื้นผิวต่างชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์ฟอกขาวที่ประกอบด้วยคลอรีนอิสระ และ Sodium percarbonate สามารถทำความสะอาดคราบเลือดได้ดีไม่ต่างกันบนพรมขนสั้น พรมขนยาว กระเบื้องลามิเนต ปาเกต์ และ PVC

1.4 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน จัดเป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานที่ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน เป็นอนุภาคนาโนขนาดเล็กที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรค ทั้งในผลิตภัณฑ์ซักผ้า เครื่องสำอาง อุปกรณ์การแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหาร สีทาผนัง เป็นต้น¹⁶ ทั้งนี้เมื่อซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลการทดลองพบว่า สามารถตรวจพบคราบเลือดได้บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าว แต่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดอื่น รวมทั้งผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน อาจเป็นเพราะอนุภาคซิลเวอร์นาโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ซักผ้าดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคของเหล็ก¹⁷ ในโมเลกุลฮีโมโกลบินได้ ทำให้ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ

บนผ้าที่ซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ชี้กว่าผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐานเล็กน้อย

1.5 ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน จัดเป็นผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่มีส่วนประกอบของสารเคมีทั่วไปสำหรับการซัก ได้แก่ Sodium carbonate, Anionic Surfactant, Zeolite, Sodium carboxymethylcellulose และ/หรือ Optical brightener โดยไม่มีส่วนประกอบสำคัญอื่น ๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการซักคราบ ผลการทดลองพบว่าเมื่อซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดดังกล่าว มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยกว่า 15 วินาที หมายถึงตรวจพบคราบเลือด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Daud และ Sundram⁷ ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดบนผ้าที่แตกต่างกันเมื่อซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ใช้ทั่วไปในประเทศมาเลเซีย เมื่อตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer พบว่าตรวจพบคราบเลือดบนผ้าฝ้ายที่แช่ด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้า Dynamo, Breeze, Fab และ Top เป็นระยะเวลา 20 นาที ให้ผลบวกกับน้ำยาทดสอบทุกชนิดผลิตภัณฑ์ซักผ้า ทั้งนี้เมื่อแช่ผ้าโพลีเอสเตอร์ด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้า Dynamo 20 นาที ให้ผลลบ ผลิตภัณฑ์ซักผ้า Breeze, Fab และ Top ให้ผลบวกที่ระยะเวลาการแช่ผ้า 20 นาที ซึ่งอาจเป็นเพราะสารประกอบลดแรงตึงผิวของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทำให้ความสามารถของผลิตภัณฑ์ซักผ้าแต่ละชนิดต่างกัน

2. การวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผ้า

จากการวิเคราะห์ตัวแปรชนิดของผ้า ได้แก่ ผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% พบว่าชนิดผ้าที่ต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่

แตกต่างกัน และตรวจไม่พบคราบเลือดบนผ้าทั้ง 3 ชนิดนี้ หมายถึง ตัวแปรชนิดของผ้าไม่มีผลต่อการตรวจพบคราบเลือด ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองของ Nakanishi และคณะ¹⁸ ที่ศึกษาการตรวจพิสูจน์คราบเลือดและรอยพิมพ์ดีเอ็นเอจากคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักด้วยมือ โดยหยดเลือดลงบนเสื้อยืดที่ทำจากเส้นใยฝ้าย 100% และใยโพลีเอสเตอร์ 100% หลังจากทิ้งคราบเลือดให้แห้ง นำมาซักด้วยมือ โดยใช้สบู่สำหรับซักมือ, น้ำยาล้างจาน, ผงซักฟอก สบู่ และน้ำ จนกระทั่งมองไม่เห็นคราบ จากนั้นนำมาตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วย LMG Luminol และ Anti-human Hb พบว่า ผ้าฝ้าย 100% ให้ผลบวกมากกว่า ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และการทดลองของ Edler และคณะ¹¹ ที่พบว่า เมื่อนำผ้าโพลีเอสเตอร์ผสมผ้าฝ้าย และผ้าฝ้ายเปื้อนคราบเลือดมาซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าเอนกประสงค์ ผลิตภัณฑ์ซักผ้ากำจัดเชื้อโรค ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสี ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวจัดคราบเลือด ที่อุณหภูมิ 20°C, 30°C, 60°C และ 95°C ให้ความเข้มแสงของ Luminol น้อยกว่าผ้าฝ้าย ซึ่งอาจเกิดจากความสามารถในการดูดความชื้นและการยิดติดของโปรตีนบนผ้าฝ้ายได้ดีกว่าผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งผลการทดลองที่แตกต่างกันนั้นอาจเป็นเพราะน้ำยาทดสอบและวิธีที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์ต่างกัน โดยการศึกษาก่อนหน้านี้มักใช้การสังเกตการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบด้วยตาเปล่า นำมาเทียบกับเกณฑ์ความเข้มสีแล้วให้คะแนนความเข้มสีตามสิ่งที่มองเห็น จากนั้นแปลเป็นผลบวก บวกอ่อน หรือลบ ซึ่งการมองเห็นสีของแต่ละบุคคลนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ เพศ อายุ ประสบการณ์ และสภาพแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้

มุ่งเน้นที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ซึ่งการที่ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบน้อยหรือมากนั้นแปรผกผันกับปริมาณคราบเลือดที่หลงเหลืออยู่หลังการซัก หากมีเลือดเหลืออยู่ปริมาณมากการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจะใช้เวลาน้อย (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 วินาที) และหากมีเลือดปริมาณน้อยระยะเวลาการเปลี่ยนสีจะใช้เวลานาน (มากกว่า 15 วินาที) โดยใช้การแปลผลจากภาพนิ่งซึ่งถูกแปลงจากภาพเคลื่อนไหวขณะทำการทดลอง ทำให้สามารถตรวจสอบผลการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แม้จะมีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเพียงเล็กน้อย ในระยะเวลาอันสั้นซึ่งสายตามนุษย์อาจไม่ทันสังเกตเห็น ทำให้ผลการตรวจพิสูจน์ คือ ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกันบนผ้าทั้ง 3 ชนิด

3. การวิเคราะห์ตัวแปรระยะเวลาหลังซัก

จากการวิเคราะห์ตัวแปรระยะเวลาหลังซักที่ 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน พบว่าระยะเวลาหลังซักต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน และตรวจไม่พบคราบเลือดที่ระยะเวลาหลังดังกล่าว หมายถึง ตัวแปรระยะเวลาหลังซักไม่มีผลต่อการตรวจพบคราบเลือด ซึ่งอาจเป็นเพราะการซักผ้าเปื้อนคราบเลือดด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ช่วยขจัดคราบเลือดที่ติดอยู่บนผิวผ้าให้เหลือเพียงคราบเลือดฝังแน่นที่อยู่ในเนื้อผ้าเพียงเท่านั้น ทำให้เลือดที่อาจฝังแน่นอยู่ในเนื้อผ้าเกิดปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมได้ยากเนื่องจากถูกเก็บไว้ในกล่องปิดที่ป้องกันการสัมผัสกับอากาศและแสงแดดโดยตรง สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรอนงค์ บันทา และคณะ¹⁹ ที่ศึกษาการตรวจสอบคราบโลหิต

ของมนุษย์บนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยผสมด้วยวิธีบลูสตาร์ โดยตรวจสอบคราบเลือดที่ถูกทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1, 3 และ 5 สัปดาห์พบว่าเมื่อเจือจางตัวอย่างเลือด 1:100 หยดลงบนเส้นใยประเภทต่าง ๆ ทั้งไว้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30.14 ± 1.78 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 73.75 ± 6.97 ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสม ผ้าฝ้าย 35% ให้ผลบวกไม่ต่างกัน (+++) ทั้ง 3 ช่วงเวลา ขณะที่เส้นใยธรรมชาติคือผ้าสาหลาให้ผลบวกแตกต่างจากผ้าชนิดอื่นเล็กน้อย (++) ทั้ง 3 ช่วงเวลา

สรุป

ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่ต่างกันมีผลต่อระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer แตกต่างกันโดยผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว และผลิตภัณฑ์ซักผ้าฟลัซออกซิเจน มีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบสูงที่สุด และระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกันรองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวจัดคราบ ตามลำดับ ทั้งนี้จากการแปลผลการตรวจพิสูจน์คราบเลือดสามารถตรวจพบคราบเลือดได้ที่ระยะเวลาลงชักวันที่ 0-28 บนผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าสูตรมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวจัดคราบ เท่านั้น และเมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบจำแนกตามชนิดของผ้าฝ้าย 100% ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% และผ้าโพลีเอสเตอร์ 65% ผสมผ้าฝ้าย 35% และระยะเวลาลงชักที่ 0, 1, 3, 5, 7, 9, 14, 21 และ 28 วัน พบว่ามี

ระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ชนิดของผ้าและระยะเวลาลงชักดังกล่าวไม่มีผลต่อการตรวจพบคราบเลือด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้

1.1 จากข้อค้นพบที่ว่า ชนิดของผลิตภัณฑ์ซักผ้าที่แตกต่างกันมีระยะเวลาการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้วัตถุพยานประเภทผ้าที่ผ่านการซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าบางชนิดยังสามารถตรวจพบคราบเลือดอยู่แม้จะผ่านการซักเป็นเวลานานถึง 28 วัน ดังนั้นเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมพยานหลักฐานสามารถทดสอบคราบเลือดจากเสื้อผ้าเปื้อนเลือดที่ผ่านซักได้ในสถานที่เกิดเหตุด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer หรือเก็บวัตถุพยานประเภทผ้าเปื้อนคราบเลือดที่ผ่านการซักไปตรวจพิสูจน์ในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาและดีเอ็นเอเพื่อตรวจหาคราบเลือดหรือดีเอ็นเอต่อไปได้

1.2) การตรวจพิสูจน์คราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer โดยการตรวจวัดด้วยค่าสี CIELAB สามารถตรวจสอบได้ง่ายและทำได้รวดเร็ว ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญในโปรแกรมขั้นสูงก็สามารถใช้งานได้ ทั้งยังสามารถกำหนดค่าสี (a^*) ที่เหมาะสมตามการใช้งานของแต่ละห้องปฏิบัติการได้ ซึ่งค่าสีดังกล่าวสามารถนำมาการประยุกต์ใช้กับการตรวจพิสูจน์คราบเลือดในกรณีที่มีคราบเลือดอยู่น้อยหรือมีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบเป็นสีอ่อนเพียงเล็กน้อยจนทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์ไม่มั่นใจว่ามีการเปลี่ยนสีของน้ำยาทดสอบหรือไม่ การใช้ค่าสีดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ตรวจพิสูจน์

มีมาตรฐานเดียวกันในการตรวจพิสูจน์และมีความมั่นใจในผลการตรวจพิสูจน์มากขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาการถ่ายโอนของคราบเลือดบนผ้าจากบริเวณที่มีคราบเลือด ไปสู่บริเวณที่ไม่มีคราบเลือดเมื่อซักด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิดเพิ่มเติม เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจพบคราบเลือดบนผ้าที่ผ่านการซักเฉพาะจุดที่ทำการหยดเลือดลงบนผ้าเท่านั้น และไม่มีการนำผ้าไปเปื้อนเลือดมาซักรวมกับผ้าเปื้อนเลือดในแต่ละผลิตภัณฑ์ซักผ้า ทั้งนี้ในชีวิตประจำวันมักมีการซักผ้ารวมกันหลายชิ้นต่อการซัก 1 ครั้ง ผู้ก่อเหตุอาจซักทั้งผ้าที่เปื้อนเลือดและผ้าไม่เปื้อนเลือดรวมกัน ซึ่งหากมีการถ่ายโอนเลือดจากผ้าเปื้อนเลือดสู่ผ้าที่ไม่เปื้อนเลือด อาจทำให้การเก็บวัตถุพยานจากสถานที่เกิดเหตุเข้าสู่สำนวนคดีมีความผิดพลาดไป

2.2 ควรศึกษาเปรียบเทียบปริมาณดีเอ็นเอหรือรูปแบบดีเอ็นเอที่ตรวจพบ หลังจากซักผ้าด้วยผลิตภัณฑ์ซักผ้าต่างชนิด ที่ทำการทดสอบด้วยน้ำยาทดสอบ Kastle-Meyer ให้ผลเป็นบวก เนื่องจากการตรวจพบคราบเลือดด้วยน้ำยาทดสอบดังกล่าวเป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้น สามารถระบุได้เพียงว่าตรวจพบหรือไม่พบคราบเลือดเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถยืนยันได้ว่าคราบเลือดที่ตรวจพบนั้นมีดีเอ็นเอเพียงพอในการยืนยันตัวบุคคลหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ ครอบครัว อาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พี่ๆ เพื่อนๆ กลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ และกลุ่มงานตรวจทาง

เคมีฟิสิกส์ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. สถิติฐานความผิดคดีอาญา (คดี 4 กลุ่ม) หน่วยงานทั่วประเทศ 2564 [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 28 มกราคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: สืบค้นจาก <https://bit.ly/3uhKp4H>.
2. Hofmann M, Adamec J, Anslinger K, Bayer B, Graw M, Peschel O, et al. Detectability of bloodstains after machine washing. Int J Legal Med 2019;133:1-14.
3. Cox M. A study of the sensitivity and specificity of four presumptive tests for blood. J Forensic Sci 1991;36:1503-11.
4. สวรรศ บูริมโน. การตรวจวัดคราบโลหิตด้วยวิธีฟีนอล์ฟธาไลน์ เตตระเมทิลเบนซิดีน ลูมิโนล และบูล สตาร์. [วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2555.
5. Sapan TÜ, Erdogan IT, Atasoy S. Human identification from washed blood stains. Bull Natl Res Cent 2021;45:148.
6. วิภาวรรณ บุญช่วยเหลือ, ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง, ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี. การตรวจคราบเลือดของมนุษย์ด้วยวิธีลูมิโนล ฟีนอล์ฟธาไลน์และฟูลออเรสเซิน บนผ้าชนิดต่าง ๆ. วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 2560;14:70-7.

7. Daud SMSM, Sundram S. Identification of bloodstains on different fabrics after washing with commonly used detergent in Malaysia. JMAS 2019;17:57-65.
8. Gefrides LA, Welch KE. Serology and DNA. In: Mozayani A, Noziglia C, editors. The forensic laboratory handbook: procedures and practice. New Jersey: Humana Press; 2006. p. 1-33.
9. Castelló A, Francès F, Corella D, Verdú F. Active oxygen destroys the evidence. Naturwissenschaften 2009;96:303-7.
10. Howard D, Chaseling J, Wright K. Detection of blood on clothing laundered with sodium percarbonate. FSI 2019;302.
11. Edler C, Gehl A, Kohwagner J, Walther M, Krebs O, Augustin C, et al. Blood Trace Evidence on Washed Textiles - a systematic approach. Int J Legal Med 2017;131:1179-89.
12. นวลแข ปาลิวนิช. ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2556.
13. Zeronian SH, Inglesby MK. Bleaching of cellulose by hydrogen peroxide. Cellulose 1995;2:265-72.
14. Fukuzaki S. Mechanism of action of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection process. Biocontrol Science 2006;11:147-57.
15. Edler C, Krebs O, Gehl A, Palatzke K, Tiedemann N, Schröder AS, et al. The effect of bleaching agents on the DNA analysis of bloodstains on different floor coverings. Int J Legal Med 2020;134:921-7.
16. Siemianowicz K, Likus W. The risk of silver nanoparticles to the human body. In: Cao H, editor. Silver nanoparticles for antibacterial devices: biocompatibility and toxicity. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2017. p.193-210.
17. Roto R, Marcelina M, Aprilita N, Mudasir M, Natsir T, Mellisani B. Investigation on the Effect of Addition of Fe^{3+} Ion into the Colloidal AgNPs in PVA Solution and Understanding Its Reaction Mechanism. Indonesian J Chem 2017;17:439.
18. Nakanishi H, Ohmori T, Yoneyama K, Hara M, Takada A, Saito K. Bloodstain examination and DNA typing from hand-washed bloodstains on clothes. Legal Medicine 2020;47:101758.
19. อรอนงค์ ปันหา, กัลยาณี มั่นเกษวิทย์, ณัฐกมล ชโยทัย, พิรพงษ์ บุญฤกษ์. การตรวจสอบคราบโลหิตของมนุษย์บนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยผสมด้วยวิธีบลูสตาร์. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ 2565;8:17-29.

ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ถั่วเหลืองเสริมไข่ผงแห้ง

The Creamy Salad Dressing Formulated with Tofu and Supplement with Watermeal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.)

ศุภักษร มาแสวง², ศุภณัฐ เกิดน้อย¹, สุรเชษฐ วรณพันธ์¹, ณพนธ์ แดงสังวาลย์¹ และคณิสัย ทิมทอง^{1*}

Supuksorn Masavang², Supanat Kirdnoi¹, Surachet Wannaphan¹, Nanoln Dangsungwal¹ and Sansanee Timthong^{1*}

¹สาขาวิชาอุตสาหกรรมบริการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

¹Department of Food Service Industry, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Dusit, Bangkok 10300, THAILAND

²Department of Food Technology, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Dusit, Bangkok 10300, THAILAND

*Corresponding author; E-mail: sansanee.th@rmutp.ac.th

Received: 06 February 2023 /Revised: 11 April 2023 /Accepted: 11 April 2023

บทคัดย่อ

น้ำสลัดครีมเป็นเครื่องปรุงเพื่อเพิ่มความอยากอาหารของผู้บริโภค ในปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงผลของการบริโภคไขมันในไข่แดงและไขมันที่ใช้ในน้ำสลัด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาน้ำสลัดครีมไร้ไข่แดงด้วยเต้าหู้ถั่วเหลืองและเติมแทนแทนกัน เพื่อทดแทนเต้าหู้บางส่วนและเพิ่มความคงตัวของน้ำสลัดครีม โดยศึกษาปริมาณแทนแทนกันที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ (ร้อยละ 0.15, 0.30 และ 0.45) และเสริมไข่ผงแห้ง เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในน้ำสลัดครีม (ร้อยละ 1.0, 2.0 และ 3.0) จากการศึกษาพบว่า การทดแทนเต้าหู้ด้วยแทนแทนกันในน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ ที่ร้อยละ 0.30 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรอื่นและมีค่าสี ค่าความหนืด และค่าการไหลใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด จึงถูกนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยการเสริมไข่ผงแห้ง จากการวิจัยพบว่า การเสริมไข่ผงแห้งร้อยละ 1.0 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สูงกว่าสูตรอื่นและอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก อีกทั้งการเสริมไข่ผงแห้งในน้ำสลัดปริมาณมากส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*), ค่าดัชนีสีแดง (a^*) และค่าการไหลของน้ำสลัดครีมมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าดัชนีสีเหลือง (b^*) และความหนืดของตัวอย่างสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้แทนแทนกันและไข่ผงทดแทนไข่แดงในน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้

คำสำคัญ: น้ำสลัดชนิดข้น แทนแทนกัน ไข่ผงแห้ง อาหารจากพืช



Abstract

Creamy salad dressing is widely used as a seasoning to enhance consumers' appetite. Nowadays, consumers are aware of the effects of consuming egg yolk and the fat used in salad dressings. The purpose of this study was to develop an egg-free creamy salad dressing with tofu and the tofu substitution with xanthan gum to increase the texture of such products. The appropriate amount of xanthan gum in tofu cream salad dressing was studied (0.15, 0.30, and 0.45%) and then dried watermeal was added to increase the nutritional value of the creamy salad dressing (1.0, 2.0 and 3.0%). The study found that replacement tofu with xanthan gum in cream salad dressing at 0.3% was the appropriate amount due to it received the highest liking scores in terms of textural and overall acceptance and had color, viscosity, and flow values closest to the control sample. Therefore, it was used to develop products by supplementing dried watermeal. The study found that a 1.0% supplementation caused panelists to rate their preference for appearance, color, taste, texture and overall preference higher than the other formulas with the moderate to very like level. Furthermore, high supplementation of dried watermeal resulted in lower lightness (L^*), redness (a^*) values, and consistency of creamy salad dressing, while yellowness (b^*) and viscosity were increased which affected the sensory evaluation of the panelists. The findings of this study suggested a high potential for using xanthan gum and watermeal as egg replacers in tofu creamy salad dressing.

Keywords: Creamy salad dressing, Xanthan gum, Dried watermeal, Plant-based food

บทนำ

ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมแบบเทราด (Pourable salad dressing) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำมีลักษณะเป็นซอสข้นเหนียวสีเหลืองซึ่งมักทำจากน้ำมันพืช น้ำส้มสายชูกลั่น น้ำตาล ไข่แดง มัสตาร์ด แป้งดัดแปร น้ำ และเกลือ¹ และมีปริมาณไขมันร้อยละ 20-80 ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำสลัด^{2,3} ซึ่งไข่แดงเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำให้ส่วนผสมที่เสถียรและมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ อิมัลซิไฟเออร์สามารถลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสของน้ำมันและน้ำได้ และสามารถป้องกันการรวมตัวของหยดน้ำมัน

โดยการสร้างสารเคลือบป้องกันรอบ ๆ หยดน้ำมัน⁴ ไข่แดงมีปริมาณคอเลสเตอรอลและกรดไขมันอิ่มตัวสูง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของโรคหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนี้ไข่แดงยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และลดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ความต้องการของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำและปราศจากคอเลสเตอรอลที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้บริโภคได้เพิ่มความสนใจในการใช้ส่วนผสมอาหารที่มาจากพืช รวมถึงถั่วเมล็ดแห้ง ถั่วลิสง เต้าหู้ และถั่วเลนทิล แป้งธัญพืชทั้งเมล็ด โปรตีน และไฟเบอร์

เป็นต้น เนื่องจากคุณสมบัติทางโภชนาการและคุณสมบัติเชิงหน้าที่เป็นเอกลักษณ์ จึงมีการใช้วัตถุดิบเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปเพิ่มค่าเพิ่มต่าง ๆ รวมถึงขนมปัง พาสต้า และน้ำสลัด⁴ ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาเพื่อใช้วัตถุดิบจากพืช เช่น เต้าหู้ถั่วเหลือง เพื่อทำให้น้ำสลัดครีมคงลักษณะที่ดีใกล้เคียงเหมือนสูตรดั้งเดิมที่ผลิตด้วยไข่แดง เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ประกอบด้วยโปรตีนจากถั่วเหลือง ไอโซฟลาโวน มีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ และปราศจากคอเลสเตอรอล การบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองและไอโซฟลาโวนจึงมีผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค⁵ เนื่องจากไอโซฟลาโวนเป็นฮอร์โมนเอสโตรเจนที่ช่วยในการดูดซึมแคลเซียม บรรเทาอาการกระดูกพรุนและมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันการโรคมะเร็ง^{6,7} องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) แนะนำให้บริโภคโปรตีนถั่วเหลือง 25 กรัมต่อวัน⁸ ซึ่งมีงานวิจัยที่ใช้เต้าหู้ถั่วเหลืองเพื่อพัฒนาคุณภาพของน้ำสลัด เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเต้าหู้พลังงานต่ำที่พัฒนาโดยใช้เต้าหู้ถั่วเหลืองร้อยละ 30 ส่งผลให้น้ำสลัดมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นแต่ปริมาณไขมันลดลงจากสูตรพื้นฐาน ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับไม่แตกต่างจากน้ำสลัดสูตรพื้นฐาน⁹ และสูตรน้ำสลัดครีมที่ผลิตจากเต้าหู้ถั่วเหลืองเพื่อทดแทนการใช้ไข่แดงอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ที่ร้อยละ 22 และน้ำมันมะพร้าวเพื่อทดแทนน้ำมันถั่วเหลืองที่ร้อยละ 37 ทำให้น้ำสลัดได้รับคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงค่าความกรด-ด่าง สี และความเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน¹⁰

การใช้อิมัลซิไฟเออร์เพื่อทดแทนไข่แดงในการพัฒนาสูตรน้ำสลัด ได้แก่ ไฮโดรคอลลอยด์และโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะด้านการเกิดเจลและทำให้เกิดความข้นหนืด เช่น แซนแทนกัม กัวร์กัม โคลสบินกัม กัมอาระบิก และเพคติน มักถูกใช้เพื่อเพิ่มเนื้อสัมผัส ป้องกันการแยกตัวของน้ำสลัดจากแรงโน้มถ่วง และเพิ่มความคงตัวในระยะยาวให้กับน้ำสลัด¹¹ กัมเหล่านี้มักจะให้ความชุ่มชื้นสูงและประกอบด้วยโมเลกุลหรือมวลรวมที่ขยายขนาดได้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล ระดับการแตกแขนง โครงสร้าง และความยืดหยุ่น รวมถึงมีความสามารถในการเพิ่มความหนืดให้กับอาหาร¹² แซนแทนกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้ในอาหารชนิดหนึ่งเป็นเฮเทอโรโพลีแซคคาไรด์ ที่ผลิตจากจุลินทรีย์โดยการหมักแบคทีเรียออกซิเจนของเชื้อ *Xanthomonas campestris* มีเซลลูโลสแกนหลักมีสายโซ่กิ่งที่ประกอบด้วยหน่วยแมนโนสสองหน่วยคั่นด้วยกรดกลูโคโรนิก ทำให้สามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนหรือน้ำเย็น มีความหนืดสูงที่ความเข้มข้นต่ำ และมีความเสถียรดีเยี่ยมในระบบความร้อนและกรด¹³ จึงมักถูกใช้เป็นสารก่อเจลเพื่อให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์นม ขนมอบ เครื่องดื่ม ซุป ซอส และน้ำสลัด ซึ่งพบการใช้แซนแทนกัมในการพัฒนาสูตรการผลิตน้ำสลัดเพื่อเพิ่มความหนืดในเฟสของน้ำ ป้องกันการเกิดแยกชั้นครีม และการแยกชั้นของอิมัลชัน¹⁴ เช่น น้ำสลัดเสริมแป้งเลนทิล ร้อยละ 7 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.25 เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ¹¹ การเติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.5 เพื่อเพิ่มความคงตัวของน้ำสลัดจากน้ำมันมะกอกและน้ำส้มแอปเปิ้ลที่เก็บในตู้เย็นได้นานถึง 90 วัน ที่มักส่งผลต่อความหนืดของน้ำสลัดที่ถือเป็นคุณลักษณะที่สำคัญจากมุมมองของผู้บริโภค

ไผ่ผ่าหรือไผ่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) สามารถเป็นส่วนผสมของอาหารที่มาจากพืชในอนาคตและเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่ยั่งยืนและมีศักยภาพในการทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ซึ่งเป็นโปรตีนที่ดีต่อสุขภาพ¹⁵ ไผ่ผ่าเป็นพืชสีเขียวในน้ำ มีขนาดเล็ก ลอยน้ำอย่างอิสระ ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำที่เคลื่อนไหวช้า ๆ เช่น ทะเลสาบและสระน้ำ^{16,17} ปริมาณสารอาหารของไผ่ผ่าได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในการพัฒนาสูตรอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ และผลิตภัณฑ์อาหารเกิดใหม่สำหรับมนุษย์^{18,19} มีรายงานว่าไผ่ผ่ามีปริมาณโปรตีนร้อยละ 20-30 ซึ่งสูงกว่าที่พบในธัญพืช¹⁹ ไผ่ผ่ามีร้อยละ 4-7 แป้งร้อยละ 4-10 และยังประกอบด้วยสารแคโรทีนอยด์และโพลีฟีนอล เช่น ฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานิน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ¹⁵ จากคุณสมบัติเบื้องต้นไผ่ผ่าจึงเหมาะสมที่จะเป็นวัตถุดิบจากพืชที่ใช้ในการเสริมโปรตีนและคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์อาหาร

จากข้อมูลวิจัยผู้วิจัยได้เล็งเห็นประโยชน์ของการนำไผ่ผ่าซึ่งเป็นพืชพื้นบ้านของไทยที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะโปรตีน มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไผ่ผ่าซึ่งเป็นผักพื้นบ้านมายกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลาย และเป็นการเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับไผ่ผ่า อีกทั้งเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กลุ่มผู้บริโภคที่สนใจบริโภคอาหารที่เน้นพืชเป็นหลักและเหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้บริโภคในปัจจุบัน

วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

เต้าหู้ถั่วเหลือง น้ำส้มสายชูหมักจากแอปเปิ้ลธรรมชาติเข้มข้นร้อยละ 5 น้ำมันสลัด น้ำตาลทราย พริกไทยแซนแทนกัม และผงไผ่ผ่าอบแห้ง

2. การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแซนแทนกัมที่ใช้ในน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้

น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ดัดแปลงจากสูตรของพรทวี และสุวรรณ^๑ ผลิตด้วยส่วนผสมแสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ได้แก่ เต้าหู้ถั่วเหลือง (ร้อยละ 35.50) น้ำส้มสายชูหมัก (ร้อยละ 10.65) น้ำมันสลัด (ร้อยละ 41.70) น้ำตาลทราย (ร้อยละ 10.10) เกลือป่น (ร้อยละ 1.77) และพริกไทยป่น (ร้อยละ 0.28) สำหรับการการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแซนแทนกัมที่ใช้ในน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้โดยการเติมแซนแทนกัมที่ร้อยละ 0.15 0.30 และ 0.45 เพื่อทดแทนเต้าหู้ถั่วเหลือง ดังสูตรน้ำสลัดที่แสดงใน Table 1 การเตรียมน้ำสลัดเริ่มจากเติมน้ำตาลทรายและแซนแทนกัมในน้ำเปล่าคนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้แซนแทนกัมดูดซับน้ำได้อย่างเต็มที่ จากนั้นเติมส่วนผสมอื่น ๆ ลงไป ยกเว้นน้ำมันสลัด แล้วตีผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องตีผสมอาหาร (ยี่ห้อ Electrolux รุ่น EHM3407) หัวตะกร้อด้วยความเร็วปานกลาง 3 นาที เพื่อให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ขั้นตอนสุดท้ายเติมน้ำมันสลัดและตีผสมต่อด้วยความเร็วสูงสุด 5 นาที น้ำสลัดครีมสูตรควบคุมเตรียมโดยใช้วิธีเดียวกันแต่ไม่เติมแซนแทนกัม น้ำสลัดทุกสูตรถูกจัดเก็บในขวดแก้วปิดฝาให้สนิทและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

Table 1. The recipes used for the preparation of different formulated creamy salad dressing

Ingredients (% w/w)	Xanthan substitution (% w/w)			
	0 (Control)	0.15	0.30	0.45
Tofu	35.50	35.35	35.20	35.05
Vinegar	10.65	10.65	10.65	10.65
Oil	41.70	41.70	41.70	41.70
Sugar	10.10	10.10	10.10	10.10
Salt	1.77	1.77	1.77	1.77
Pepper	0.28	0.28	0.28	0.28
Xanthan gum	0	0.15	0.30	0.45

3. ศึกษาผลของการเสริมไข่ผำแห้งในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้

ศึกษาปริมาณของไข่ผำแห้งที่เสริมในน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ด้วยปริมาณที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 1, 2 และ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด โดยใช้สูตรการผลิตน้ำสลัดที่เดิมแทนแทนกัน ในปริมาณที่เหมาะสมที่คัดเลือกจากขั้นตอนในข้อ 2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมไข่ผำแห้งที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้

4. การตรวจสอบคุณภาพของน้ำสลัดครีม

4.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีการชิม แบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 50 คน ซึ่งเป็นบุคลากรและนักศึกษาปริญญาตรี คณะ

เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร นำเสนอตัวอย่างน้ำสลัดครีมพร้อมขนมปังกรอบรสจืดที่อุณหภูมิห้อง ทำการติดป้ายรหัสแบบสุ่มด้วยเลข 3 หลัก และต้องกลั้วปากด้วยน้ำอุ่นเพื่อกำจัดรสชาติของตัวอย่างก่อนหน้า นำเสนอที่ละตัวอย่างตามลำดับ

4.2 การวัดค่าสี (Color measurement)

วัดค่าสีในระบบ CIE L* a* b* ของน้ำสลัดครีมด้วยเครื่อง Spectrophotometer (CM-3500 d, Konica Minolta, Japan) แล้วบันทึกค่า L* a* และ b* โดยค่าความสว่าง (L*) มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่าดัชนีสีแดง (a*) เมื่อ ค่า a* มีค่าบวกบ่งบอกถึงความเป็นสีแดง หากค่า a* มีค่าลบ บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว และค่าดัชนีสีเหลือง (b*) เมื่อค่า b* มีค่าบวกบ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง หากค่า b* มีค่าลบ บ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงิน

4.3 การวัดค่าความหนืด (Apparent viscosity)

ความหนืดของน้ำสลัดครีมถูกวัดที่อุณหภูมิ 25±3 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer (ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV-II+, Brookfield

Engineering Laboratories, Inc., Massachusetts, U.S.A.) พร้อมกับหัววัด (Spindle) ที่เป็นแกนหมุนจาน เบอร์ 5 ก่อนการวัดให้น้ำน้ำสลัดครีมทุกตัวอย่างวางไว้บนอกตู้เย็นเพื่อให้ น้ำสลัดครีมคลายความเย็น จากนั้นวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำสลัดครีมที่อุณหภูมิ 25 ± 3 องศาเซลเซียส การอ่านค่าความหนืดตัวอย่าง ใช้ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ใส่ในปิเกตอร์ 500 มิลลิลิตร ทำการวัดค่าที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ บันทึกความหนืดในหน่วยเซนติพอยส์ (Centipoise, cPs)

4.4 การวัดค่าการไหล (Consistency)

นำน้ำสลัดครีมมาวัดค่าการไหลบนรางวัดของเครื่อง Bostwick consistometer ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้ววัดระยะทางการไหล ในเวลา 30 วินาที ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ แล้วบันทึกระยะทางการไหลของน้ำสลัดในหน่วยเซนติเมตร (cm)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัด และวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) สำหรับการเปรียบเทียบค่าความหนืด ค่าสี และค่าการไหลของน้ำสลัด โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล (One way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแซนแทนกัมที่ใช้ในน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้

1.1 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.15, 0.30 และ 0.45 เพื่อทดแทนเต้าหู้ถั่วเหลืองบางส่วนโดยส่งผลให้เกิดความข้นหนืดและเพิ่มความคงตัวของน้ำสลัดครีม (Table 2) พบว่า ค่าคะแนนความชอบทุกด้านมีระดับอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.54-7.58 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับชอบปานกลาง คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ ของน้ำสลัดครีมทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ขณะที่คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.30 และ 0.45 มีคะแนนสูงกว่าน้ำสลัดสูตรที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.15 ($p \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำสลัดทั้ง 2 สูตร มีความข้นมากกว่าน้ำ มีรายงานการใช้แซนแทนกัมในผลิตภัณฑ์แซนวิชเปรตจากงาดำ (Black sesame spread)²⁰ พบว่า เมื่อปริมาณของแซนแทนกัมในสูตรการผลิตเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สเปรตมีความเหนียว (Cohesive) มากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติการอุ้มน้ำของแซนแทนกัม อีกทั้งเมื่อมีการเติมแซนแทนกัมมากขึ้นทำให้น้ำสลัดมีความเหนียวและเคลือบบนชิ้นขนมปังกรอบขณะชิมได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงทำผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมต่อน้ำสลัดครีมที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.30 และ 0.45 สูง และไม่พบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตรนี้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องผลของแซนแทนกัมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของสเปรตงาดำ²¹

ที่พบว่า การเติมแซนแทนกันมากกว่าร้อยละ 0.04 ในสเปรดจากงา มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวมาก ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการทดแทนเต้าหู้บางส่วนด้วยแซนแทนกัน ไม่ส่งผลต่อคะแนน

ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ แต่ส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม

Table 2. Mean sensory scores of creamy salad dressing added different xanthan gum levels

Properties	Xanthan substitution (% w/w)		
	0.15	0.30	0.45
Appearance ^{ns}	7.28±1.21	7.44±1.01	7.48±0.81
Color ^{ns}	7.16±1.31	7.22±1.06	7.36±0.90
Odor ^{ns}	6.64±1.38	6.64±1.43	6.74±1.19
Taste ^{ns}	6.54±1.33	7.02±1.38	7.04±1.23
Texture	6.58±1.23 ^b	7.58±1.05 ^a	7.44±1.09 ^a
Overall acceptance	6.86±1.21 ^b	7.32±1.21 ^a	7.34±0.92 ^a

^{a,b,c} Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Means are not significantly different ($p > 0.05$).

1.2 ผลการวิเคราะห์หัตถ์ค่าสี (Color)

น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนกัน เพื่อทดแทนเต้าหู้ถั่วเหลืองบางส่วน ที่ร้อยละ 0.15, 0.30 และ 0.45 โดยน้ำหนักรวมของส่วนผสมทั้งหมด ผลการวัดค่าสีพบว่าค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าดัชนีสีเหลือง (b^*) ลดลง เมื่อมีการเติมแซนแทนกันในสูตรการผลิตเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ส่วนการเติมแซนแทนกันไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีสีแดง (a^*) ($p > 0.05$) (Table 3) การเปลี่ยนแปลงของ L^* ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเต้าหู้ถั่วเหลืองที่อยู่ในน้ำสลัดซึ่งเป็นเต้าหู้เนื้ออ่อนที่มีสีเหลืองอ่อน¹⁰ อีกทั้งค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแซนแทนกันเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะแซนแทนกันมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นจึงส่งผลให้ดูดซับน้ำไว้

ภายในโครงสร้างเจลได้²² นอกจากนี้ลักษณะของแซนแทนกันเมื่อละลายน้ำจะให้เจลมีลักษณะขาวขุ่น²³ ทำให้น้ำสลัดครีมมีสีที่สว่างมากขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีสีเหลืองเป็นผลจากสัดส่วนของเต้าหู้ถั่วเหลืองและแซนแทนกันของน้ำสลัดครีม โดยสูตรควบคุมจะมีค่าดัชนีสีเหลืองสูงที่สุดและลดลงเมื่อในสูตรการผลิตมีปริมาณของเต้าหู้ถั่วเหลืองลดลงในขณะที่แซนแทนกันเพิ่มขึ้น (Figure 1)

1.3 ผลการวิเคราะห์หัตถ์ค่าความหนืด (Apparent viscosity)

ค่าความหนืดของน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแซนแทนกันเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำสลัดครีมสูตรควบคุมมีค่าความหนืดต่ำที่สุด และสูตรที่

เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.45 มีค่าความหนืดสูงที่สุด (Table 3) แซนแทนกัมซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำสูง น้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีโครงสร้างซึ่งเป็นสายโพลีแซคคาไรด์แบบ เส้นตรงและแบบกิ่ง²⁴ การเพิ่มขึ้นของปริมาณไฮโดรคอลลอยด์สามารถนำไปสู่ระดับการยึดเกาะกันของสายโซ่ที่เพิ่มขึ้น เช่น พันธะไฮโดรเจนของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิล และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความเร็วของของเหลวโดยโมเลกุลที่จับกันน้ำของตัวถูกละลายในระบบอิมัลชัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้นส่งผลให้โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่มีจำนวนมากขึ้นเกิดขึ้นในระบบอิมัลชัน ทำให้อิมัลชันเพิ่มความต้านทานต่อการไหลและทำให้เกิดความหนืดของอิมัลชัน⁴ ซึ่งพบรายงานการศึกษาผลของแซนแทนกัมที่ทำให้อาหารมีความเพิ่มหนืดขึ้นเช่นเดียวกันกับน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ เช่น น้ำสลัด

เสริมถั่วเลนทิล⁴ ซอสมะเขือเทศ²⁵ น้ำสลัดจากน้ำมันมะกอกและน้ำส้มแอปเปิ้ล²⁶

1.4 ผลการวิเคราะห์วัดค่าการไหล (Consistency)

การเติมแซนแทนกัมเพื่อทดแทนเต้าหู้ถั่วเหลืองบางส่วนในสูตรการผลิตน้ำสลัดครีมส่งผลให้ค่าการไหลลดลง (Table 3) เนื่องจากการเติมแซนแทนกัมปริมาณมากขึ้นทำให้น้ำสลัดครีมมีความเหนียวเพิ่มขึ้น¹⁸ ส่งผลให้สลัดครีมเคลื่อนที่บนรางของเครื่องวัดค่าการไหลได้ช้ากว่าน้ำสลัดครีมสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมแซนแทนกัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาเรื่องการพัฒนา น้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวเจ้า²⁷ ที่พบว่าแซนแทนกัมทำให้น้ำสลัดไขมันต่ำเสริมข้าวเจ้ามีค่าดัชนีการไหลลดลงเนื่องจากสารละลายแซนแทนกัมมีความหนืดสูงและมีความเป็น Shear thinning น้อยลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแซนแทนกัมในสูตรของน้ำสลัด

Table 3. Changes in the physical properties of creamy salad dressing added different xanthan gum levels

Properties	Xanthan substitution (% w/w)			
	0 (Control)	0.15	0.30	0.45
Color				
L *	80.15±0.06 ^c	78.90±0.13 ^d	80.52±0.04 ^b	81.01±0.20 ^a
a* ^{ns}	0.70±0.08	0.72±0.06	0.70±0.05	0.72±0.02
b*	17.18±0.08 ^a	16.57±0.13 ^b	16.18±0.08 ^c	16.13±0.10 ^c
Apparent				
viscosity	6,446.67±61.10 ^d	8,540.00±91.65 ^c	18,213.33±80.83 ^b	43,713.33±155.35 ^a
(cPs)				
Consistency	8.75±0.35 ^a	8.80±0.57 ^a	4.50±0.14 ^b	2.8±0.42 ^c
(cm)				

^{a,b,c} Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Means are not significantly different ($p > 0.05$).

1.5 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

การกระจายตัวของอนุภาคในอิมัลชันของน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่มีความเข้มข้นของแซนแทนกันแตกต่างกันสามารถตรวจสอบได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ดังแสดงใน Figure 1 ตัวอย่างน้ำสลัดครีมสูตรควบคุมมีการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันไม่สม่ำเสมอ มีรูปทรงไม่แน่นอนและมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคในน้ำสลัดครีมสูตรที่เติมแซนแทนกัน น้ำสลัดครีมที่เติมแซนแทนกันร้อยละ 0.15 มีขนาด

อนุภาคสม่ำเสมอ รูปร่างกลม ขนาดหยดน้ำมันใหญ่กว่าอนุภาคในน้ำสลัดครีมสูตรที่เติมแซนแทนกันร้อยละ 0.3 และ 0.45 ตามลำดับ ซึ่งสูตรที่เติมแซนแทนกันเพิ่มขึ้นส่งผลให้การกระจายตัวของอนุภาคในน้ำสลัดครีมเป็นระเบียบมากขึ้น จากศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าความหนืดของน้ำสลัดมักจะเพิ่มขึ้นจากการเติมแซนแทนกันที่มีความเข้มข้นสูง และอาจเป็นผลให้หยดน้ำมันในน้ำสลัดมีขนาดเล็กลงและไม่จับตัวเป็นก้อน^{26,28}

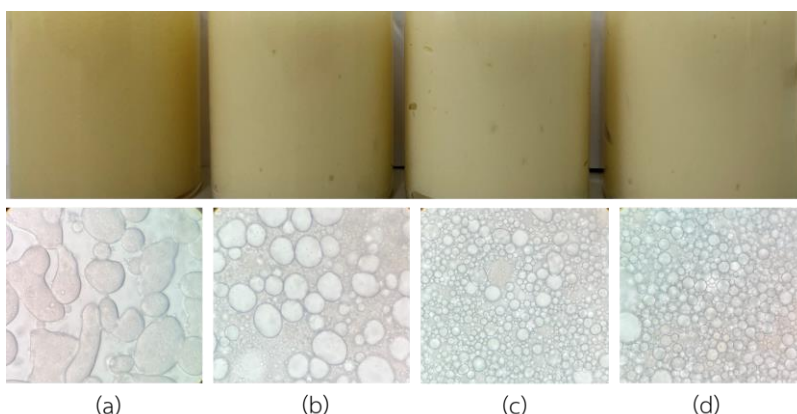


Figure 1. General characteristics of different creamy salad dressings (Upper). The lower figure was microstructure under microscopy (x40). a, b, c and d were control, 0.15%, 0.30% and 0.45% xanthan gum substitution samples, respectively.

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและคุณภาพทางกายภาพด้าน สี ความหนืดและค่าการไหล พบว่า น้ำสลัดครีมสูตรที่เติมแซนแทนกันทดแทนเต้าหู้ถั่วเหลืองบางส่วนที่ร้อยละ 0.30 เป็นสูตรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิจัยขั้นต่อไป เนื่องจากผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัส (ความข้นหนืด) และความชอบ

โดยรวมสูงและมีค่าสี ค่าความหนืด และค่าการไหลใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด

2. การศึกษาผลของการเสริมไข่ผำแห้งในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้

2.1 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนกันร้อยละ 0.30 และ

เสริมไข่แห้งปริมาณต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 1, 2 และ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าค่าคะแนนความชอบทุกด้านมีระดับอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยระหว่าง 7.12-8.14 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับชอบปานกลางถึงระดับชอบมาก คะแนนความชอบด้านกลิ่นของน้ำสลัดครีมทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ขณะที่ค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สีรสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.30 เสริมไข่แห้งร้อยละ 1.0 มีคะแนนสูงที่สุด ($p\leq 0.05$) (Table 4) ไข่แห้งมีลักษณะเป็นผงสีเขียวลำซึ่ง

เป็นสีของคลอโรฟิลล์ที่เป็นรงควัตถุสีเขียว มีรายงานถึงไข่แห้งที่อบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสพบมีคลอโรฟิลล์อยู่ในช่วง 1.32-1.69 มิลลิกรัมต่อกรัม²⁹ จากเหตุนี้จึงมีผลทำให้น้ำสลัดครีมเสริมไข่แห้งมีสีเขียว เมื่อเติมในระดับต่ำจะทำให้สีเขียวน้ำสลัดครีมมีสีเขียวน้อยกว่าสูตรที่เสริมในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลต่อการคะแนนความชอบของผู้ทดสอบ อีกทั้งน้ำสลัดครีมที่เสริมไข่แห้งร้อยละ 2.0 และ 3.0 ทำให้น้ำสลัดมีลักษณะข้นเหนียวมากเกินไปจึงทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบต่ำกว่าน้ำสลัดสูตรเสริมไข่แห้งร้อยละ 1.0

Table 4. Mean sensory scores of tofu creamy salad dressing supplemented with different dried watermeal powder levels

Properties	Dried watermeal supplementation (% w/w)		
	1.0	2.0	3.0
Appearance	8.04±0.88 ^a	7.36±0.88 ^b	7.34±0.77 ^b
Color	7.92±0.99 ^a	7.28±0.99 ^b	7.28±1.01 ^b
Odor ^{ns}	7.32±0.99	7.20±0.93	7.12±0.92
Taste	7.80±0.88 ^a	7.50±0.89 ^{ab}	7.32±0.98 ^b
Texture	7.84±0.91 ^a	7.16±1.15 ^b	7.22±0.97 ^b
Overall acceptance	8.14±0.99 ^a	7.38±0.90 ^b	7.28±0.90 ^b

^{a,b,c} Mean values with different letters in each column are significantly different ($p\leq 0.05$).

^{ns} Means are not significantly different ($p>0.05$).

2.2 ผลการวิเคราะห์วัดค่าสี (Color)

น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนกัม ร้อยละ 0.30 และเสริมไข่แห้งร้อยละ 1.0, 2.0 และ 3.0 โดยน้ำหนักรวมของส่วนผสมทั้งหมด ผลการวัดค่าสีพบว่าค่า L^* และ a^* มีค่าลดลง ในขณะที่

ค่า b^* เพิ่มขึ้น เมื่อมีการเสริมไข่แห้งในสูตรการผลิตเพิ่มขึ้น ($p\leq 0.05$) (Table 5) โดยน้ำสลัดครีมเสริมไข่แห้งร้อยละ 1 มีค่า L^* และ a^* สูงที่สุดและค่า b^* ต่ำที่สุด เนื่องจากไข่แห้งมีสีเขียวจากคลอโรฟิลล์ทำให้เมื่อเติมไข่แห้งในสูตรการผลิต

น้ำสลัดครีมส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นเมื่อเติมไข่ ผ่าแห้งมากจะเห็นได้จากค่า a^* ที่มีค่าติดลบเพิ่มขึ้น และยังทำให้ค่า L^* ของน้ำสลัดลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงของของค่า b^* แสดงให้เห็นว่าน้ำสลัดมีสีเหลืองเพิ่มในผลิตภัณฑ์ อาจเป็นเพราะคลอโรฟิลล์ที่ทำให้เกิดสีเขียวสว่างในไข่ผ่าสดซึ่งไม่ทนต่อความร้อนสามารถเปลี่ยนรูปเป็นฟิโอฟิตินเป็นสีเขียวปนน้ำตาลมักพบได้ในการแปรรูปผักและผลไม้ด้วย

ความร้อน³⁰ นอกจากนี้สารสำคัญที่มีมากในไข่ ผ่าแห้งกลุ่มแคโรทีนอยด์คือ ลูทีน (Lutein) ประกอบด้วยแซนโทโรฟิลล์ที่มีสีเหลืองประมาณ 30-80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และทนความร้อนจากการแปรรูปได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์³¹ จากสาเหตุที่กล่าวมานี้อาจส่งผลให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นได้เมื่อเสริมไข่ผ่าแห้งในสูตรการผลิตน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนแทนกัมร้อยละ 0.30

Table 5. Changes in the physical properties of creamy salad dressing supplemented with different dried watermeal powder levels

Properties	Dried watermeal supplementation (% w/w)		
	1.0	2.0	3.0
Color			
L^*	54.50±0.32 ^a	47.00±0.22 ^b	42.82±0.24 ^c
a^*	-5.31±0.07 ^a	-6.09±0.05 ^b	-6.30±0.01 ^c
b^*	22.11±0.14 ^b	23.05±0.20 ^a	23.01±0.10 ^a
Apparent viscosity (cps)	16,080.00±156.20 ^c	17,440.00±274.95 ^b	31,680.00±80.00 ^a
Consistency (cm)	5.50±0.00 ^a	5.50±0.00 ^a	5.25±0.00 ^b

^{a,b,c} Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$).

2.3 ผลการวิเคราะห์วัดค่าความหนืด (Apparent viscosity)

ค่าความหนืดของน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.30 เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเสริมไข่ ผ่าแห้งในปริมาณที่เพิ่มขึ้นในสูตรการผลิต (Table 5) มีรายงานว่าไข่ผ่าประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 20-30 ซึ่งสูงกว่าปริมาณโปรตีนที่พบในธัญพืช¹⁹ โปรตีนหลักในไข่ผ่า คือ ไบโบลอส-1, 5-บิสฟอสเฟตคาร์บอกซิเลส (Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase, RuBisCO)

ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น ยิ่งไปกว่านั้นโปรตีน RuBisCO ยังเป็นตัวเลือกที่ดีเพื่อใช้เสริมในอาหารจากพืช (Plant-based plant) เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการ สามารถย่อยและดูดซึมได้ง่าย รวมถึงไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้³² นอกจากนี้โปรตีน RuBisCO ยังมีคุณสมบัติในการก่อเจลและอิมัลซิฟิเคชันที่ดี ความสามารถในการเกิดโฟมและความสามารถในการละลายสูง³³ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้น้ำสลัดครีมที่เติมไข่ผ่าแห้งมีลักษณะข้นหนืด

และมีค่าความหนืดที่สูงขึ้น จึงอาจส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมชอบลักษณะของน้ำสลัดครีมที่ไม่ข้นจนเกินไปทำให้สูตรที่เติมไข่ผำแห้ง ร้อยละ 1.0 มีคะแนนความชอบด้านต่าง ๆ สูงที่สุด

2.4 ผลการวิเคราะห์หาค่าไหล (Consistency)

ค่าการไหลของน้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.30 เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมไข่ผำแห้งในปริมาณที่เพิ่มขึ้นในสูตรการผลิต (Table 5) ซึ่งเป็นผลจากโปรตีน RuBisCO ที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล³² ที่ส่งผลให้น้ำสลัดครีมมีลักษณะที่ข้นหนืดขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับค่าความหนืด เมื่อมีการเติมไข่ผำแห้งในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะเกิดโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงขึ้นของแซนแทนกัมร่วมกับเจลที่เกิดจากโปรตีนในไข่ผำแห้ง ทำให้น้ำสลัดครีมที่เติมไข่ผำแห้งในปริมาณมากเคลือบที่ได้น้ำน้อยกว่าสูตรที่เติมไข่ผำแห้งในปริมาณน้อยกว่า

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางกายภาพและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดครีมที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.30 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อตัวอย่างน้ำสลัดครีมที่เติมไข่ผำแห้งร้อยละ 1.0 เนื่องจากมีคะแนนความชอบด้านต่าง ๆ สูงกว่าสูตรอื่น อีกทั้งมีคุณภาพ ด้านสี ความหนืด และค่าการไหลที่สอดคล้องกับผลการประเมินทางประสาทสัมผัส

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมจากเต้าหู้ซึ่งมีการเติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.30 เป็นสูตรที่ได้คะแนนความชอบจากประเมินทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด อีกทั้งมีคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ความหนืด และค่าการไหล ใกล้เคียงกับน้ำสลัดครีม

สูตรพื้นฐานจึงถูกนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการเสริมไข่ผำแห้งที่ร้อยละ 1.0 ซึ่งได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ สูงกว่าน้ำสลัดครีมสูตรอื่น อย่างไรก็ตามการศึกษาคูณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของน้ำสลัดครีม เช่น ความคงตัว (Stability) โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) และคุณสมบัติการไหล (Rheological properties) เป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับการต่อยอดงานวิจัยในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาอุตสาหกรรมบริการอาหารและสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Babajide JM, Olatunde OO. Proximate composition, rheology and sensory qualities of corn-cocoyam salad cream. World J dairy food sci 2010;5:25-9.
2. Wu JH, Chang YK, Hou YC, Chiu WJ, Chen JR, Chen ST, et al. Meat-fat dietary pattern may increase the risk of breast cancer-A case-control study in Taiwan. Tzu Chi Med J 2013;25:233-8.
3. Liu R, Tian Z, Song Y, Wu T, Su W, Zhang M. Optimization of the production of microparticulated egg white proteins as fat mimetic in salad dressings using uniform

- design. Food Sci Technol Res 2013;24: 817-27.
4. Ma Z, Boyeb JI. Optimization of lentil-supplemented salad dressings as affected by type and level of hydrocolloids by response surface methodology. MOJ Food Process Technol 2016;2:55-65.
 5. Liu K, Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization. Gaithersburg, Maryland: Aspen publishers; 1999.
 6. Erdman JW, Stillman RJ, Boileau RA. Provocative relation between soy and bone maintenance. Am J Clin Nutr 2000. Sep;72:679-80.
 7. Thawornkuno C. Soy isoflavones: Biochemistry, mechanism of action and implication for breast cancer preventions. Thai J Genet 2014;7:7-15.
 8. Food and Drug Administration. Food labeling: health claims; soy protein and coronary heart disease. Fed Regist, 1999;64:57700-33.
 9. พรทวี ธนสัมพันธ์, สุวรรณ พิชัยยงค์วงศ์ดี. การใช้ประโยชน์จากปลายข้าวเป็นสารทดแทนไขมัน ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเต้าหู้พลังงานต่ำ. วารสารสุขภาพอาหารและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมชีวภาพ 2560;10:105-28.
 10. Sirison J, Rirermwong A, Tanwisuit N, Meaksan T. Salad cream formulated with tofu and coconut oil. Br Food J 2017;119:2194-202.
 11. Ma Z, Boye JI, Fortin J, Simpson BK, Prasher SO. Rheological, physical stability, microstructural and sensory properties of salad dressings supplemented with raw and thermally treated lentil flours. J Food Eng 2013;116:862-72.
 12. McClements DJ. Emulsion ingredients. In: McClements, DJ. (Ed.), Food Emulsions Principles, Practices, and Techniques. CRC Press, Boca Raton (Chapter4). 2005.
 13. Casas JA, Santos VE, Garcia-Ochoa F. Xanthan gum production under several operational conditions: molecular structure and rheological properties. Enzyme Microb Technol 2000;26:282-91.
 14. Sun C, Gunasekaran S, Richards MP. Effect of xanthan gum on physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsions. Food Hydrocoll 2017;21:555-64.
 15. Appenroth KJ, Sree KS, Bog M, Ecker J, Seeliger C, Böhm V, et al. Nutritional Value of the Duckweed Species of the Genus *Wolffia* (Lemnaceae) as Human Food Front Chem 2018;6:483.
 16. Van Hoeck A, Horemans N, Monsieurs P, Cao HX, Vandenhove H, Blust R. The first draft genome of the aquatic model plant *Lemna minor* opens the route for future stress physiology research and biotechnological applications. Biotechnol Biofuels 2015;8:12-3.

17. Sree KS, Bog M, Appenroth KJ. Taxonomy of duckweeds (Lemnaceae), potential new crop plants. EJFA 2016;28:291-302.
18. Anthonius C, Seok Kian Yong A, Fui CF. Supplementation of duckweed diet and citric acid on growth performance, feed utilization, digestibility and phosphorus utilization of TGGG hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* x *Epinephelus lanceolatus*) juvenile. SJST, 2018;40:1009-16.
19. De Beukelaar MFA, Zeinstra GG, Mes JJ, Fischer ARH. Duckweed as human food. The influence of meal context and information on duckweed acceptability of Dutch consumers. Food Qual Prefer 2019;71:76–86.
20. Radocaj O, Dimic E, Diosady LL, Vujasinovic V. Optimizing the texture attributes of a fat-based spread using instrumental measurements. J Texture Stud 2011;42:394-403.
21. Manakla S, Jareonnon P, Lilitchan S. Effects of xanthan gum on physicochemical and sensory properties of black sesame spreads. Food Appl Biosci J 2019;7:41-52.
22. Guarda A, Rosell CM, Benedito C, Galotto MJ. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. Food Hydrocoll 2004;18:241-7.
23. Urlacher B, Noble O. Xanthan In A Imeson (Ed.), Thickening and gelling agents for food (pp. 284–311). London: Chapman & Hall 1997.
24. Garti N, Reichman D. Hydrocolloids as food emulsifiers and stabilizers. Food Struct 1993; 12:411-26.
25. Sahin H, Ozdemir F. Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. Food Hydrocoll 2004;18:1015–22.
26. Abedinzadeh S, Torbati M, Azadmard-Damirchi S. Some qualitative and rheological properties of virgin olive oil- apple vinegar salad dressing stabilized with xanthan gum. Adv Pharm Bull 2016;6:597-606.
27. บุศราภา ลีละวัฒน์, ไตรรัตน์ แก้วสะอาด. การพัฒนาน้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวเจ้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2561; 28:774-89.
28. Khouryieh H, Puli G, Williams K, Aramouni F. Effects of xanthan-locust bean gum mixtures on the physicochemical properties and oxidative stability of whey protein stabilised oil-in-water emulsions. Food Chem 2015; 167:340-8.
29. Pannuana O, Lertworasirikul S. Effect of different pretreatments on drying characteristics, color and chlorophyll contents of duckweeds (*Wolffia globosa*). The 60th Kasetsart University Annual Conference. "Next Normal Kasetsart: Turning



- crisis into sustainability". 22-23 February 2022. Bangkok.
30. Bellomo MG, Fallico B, Muratore G. Stability of pigments and oil in pistachio kernels during storage. *Int J Food Sci Technol* 2009;44:2358-64.
31. Xu J, Shen Y, Zheng Y, Smith G, Sun SS, Wang D, et al. Duckweed (Lemnaceae) for potentially nutritious human food: A review. *Food Rev Int* 2009.
32. Chakrabarti R, Clark WD, Sharma JG, Goswami RK, Shrivastav AK, Tocher DR. Mass production of *Lemna minor* and Its amino acid and fatty acid profiles. *Front Chem* 2018;6:1-16.
33. Di Stefano E, Agyei D, Njokun EN, Udenigwe CC. Plant RuBisCo: An underutilized protein for food applications. *J Am Oil Chem Soc* 2018;95:1063-74.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือ (Coleus amboinicus Lour.) เพื่อล้างสารพิษตกค้างในผัก

Product Development of Effervescent Tablets from Indian Borage (Coleus amboinicus Lour.) Extract for Detoxification of Pesticide Residues in Vegetables

ลัดดาวัลย์ กองพลี* และ พรรณวิภา พงศ์ศรี

Laddawan Kongplee* and Phanwipa Pangsrri

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

*Corresponding author; E-mail: Laddawan.kong@vru.ac.th

Received: 21 July 2023 /Revised: 19 October 2023 /Accepted: 20 October 2023

บทคัดย่อ

ผักเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ โยอาหารและสารพฤกษเคมีต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่ผู้บริโภคจำนวนมากยังกังวลเกี่ยวกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างอยู่ในผักซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ แม้ว่าจะมีข้อมูลวิธีการล้างสารพิษตกค้างในผักจากสื่อต่าง ๆ แต่ยังไม่พบข้อมูลที่แน่ชัดเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการล้างด้วยวิธีนั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาวิธีการนำใบหูลือ (*Coleus amboinicus* Lour.) ซึ่งพบสารหลายชนิดที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ยีสต์ ฆ่าแมลง กำจัดสารพิษ และไม่ก่อให้เกิดการตกค้างมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เม็ดฟู โดยใช้ส่วนผสมของกรดซิตริก กรดทาร์ทริก โซเดียมไบคาร์บอเนต ผสมกับสารสกัดใบหูลือ ในอัตราส่วน 1: 2: 3.44: 1 โดยการหาความเข้มข้นของสารสกัดใบหูลือที่เหมาะสมพบว่าความเข้มข้นของสารสกัด 90% w/v เหมาะสมที่สุด ทำให้น้ำหนักต่อเม็ดสูงสุด 6.85 ± 0.01 กรัม ใช้เวลาละลายน้ำ 1.20 ± 0.09 นาที ค่า pH 7.10 และทดสอบประสิทธิภาพการล้างสารพิษตกค้างในผักด้วยชุดทดสอบ TV-KIT ร่วมกับการวัดค่าสีของสารละลายโดย Munsell color system พบว่าผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือ 1 เม็ดละลายในน้ำ 1 ลิตรสามารถกำจัดสารพิษตกค้างในผักตัวอย่างได้ 100% เมื่อเทียบกับการล้างด้วยน้ำเปล่าและล้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงซีลสุญญากาศได้อย่างน้อย 45 วัน การนำสารสกัดใบหูลือมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เม็ดฟูเพื่อล้างสารพิษตกค้างในผัก จึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกในการล้างสารพิษตกค้างในผักก่อนนำไปบริโภค และสะดวกต่อการใช้งาน

คำสำคัญ: สารสกัดใบหูลือ เม็ดฟู สารพิษตกค้างในผัก



Abstract

Vegetables are a source of vitamins, minerals, dietary fiber and phytonutrients that are beneficial to health. Many consumers are concerned about pesticide residues in vegetables, which could negatively affect health. Although there is information about the method of cleaning vegetables from various media, there is no clear information about the efficiency of such washing. In this study, we studied the extraction of Indian borage (*Coleus amboinicus* Lour.) that has active compounds for bacteria, mold, and yeast inhibitions. In addition, it shows properties as an insecticide, toxic elimination and no toxic residue. Product development of effervescent tablets from Indian borage consisting of citric acid, tartaric acid, sodium bicarbonate and extract of Indian borage in a ratio 1: 2: 3.44: 1. The result found that concentrated extract 90% w/v was appropriate for maximum weight per tablet 6.85 ± 0.01 g, dissolution in 1.20 ± 0.09 minute, pH 7.02. The efficiency of eliminating pesticide residues in vegetables by using a TV-KIT test kit combined with the color measurement of the solution by the Munsell color system demonstrated that 1 effervescent tablet of Indian borage extract dissolved in 1 liter of water could eliminate the pesticide residues in the samples by 100% compared to washing with water and sodium bicarbonate. The product can be stored in air-sealed bags for at least 45 days. Using Indian borage extract to develop as an effervescent tablet product for removing toxic residues in vegetables is an alternative product for cleaning vegetables before consumption. Also, it is convenient to use.

Keywords: Indian Borage extract, Effervescent granules, Pesticide residues in vegetables

บทนำ

ผักเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ โยอาหาร และสารพฤกษเคมีต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แม้ว่าผักจะเป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายแต่สิ่งหนึ่งที่ผู้บริโภคกังวลคือสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างอยู่ในผัก ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ จากรายงานพบว่าประเทศไทยมีการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชมากเป็นอันดับ 5 ของโลกและผักที่ตรวจพบสารพิษตกค้างมากที่สุด

10 อันดับ ได้แก่ กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี ผักกาดขาว คะน้า ขึ้นฉ่าย แครอทหัวล้านเตา บร็อคโคลี่ ปวยเล้ง และพริกแห้ง¹ โดยมีการตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืช ใน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphates) กลุ่มคาร์บาเมต (Carbamates) และกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorines) ความเป็นพิษต่อร่างกายจะขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับสารเคมี โดยสารเคมีแต่ละกลุ่มจะออกฤทธิ์แตกต่างกันเช่นกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจะขัดขวางการทำงานของระบบประสาท

ส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เวียนศีรษะ หน้ามืด ตาลาย ปวดหัว มือสั่น ความเป็นพิษจะเกิดขึ้นภายใน 30 นาที หลังได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย กลุ่มคาร์บาเมต มีฤทธิ์เช่นเดียวกับกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตแต่อาการจะเกิดขึ้นภายใน 15 นาที หลังจากได้รับสารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีนเป็นสารเคมีที่ละลายได้ดีในไขมันจึงสามารถเก็บสะสมไว้ในร่างกายในชั้นของไขมันและเนื้อเยื่อ ความเป็นพิษจะเกิดขึ้นหลังจากได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายภายใน 24-48 ชั่วโมง ผู้ที่ได้รับสารกลุ่มนี้จะเกิดการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียนกล้ามเนื้อขาตึง การประสานงาน ทำให้เกิดอาการสั่นรุนแรงจนเกิดอาการชักและหมดสติได้² สำหรับวิธีที่นิยมล้างสารพิษตกค้างในผัก ได้แก่ การใช้ผงฟู การใช้น้ำไหลผ่าน การใช้ด่างทับทิม การใช้น้ำส้มสายชู และการใช้เกลือ³ จากการศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น สื่อจากสำนักงานอาหารและยา สื่อจากอินเตอร์เน็ต กล่าวถึงหลักการในการล้างสารพิษตกค้างในผัก แต่ยังไม่พบข้อมูลในการศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการล้างสารพิษตกค้างในผักอย่างแน่ชัด ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาวิธีการล้างผักที่เหมาะสม โดยนำสมุนไพรรพบ้านมาแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์เม็ดฟู

หูลือ (*Coleus amboinicus* Lour.) จัดอยู่ในวงศ์ Lamiaceae ชื่อสามัญ Indian borage มีชื่อท้องถิ่นอื่น ๆ ว่า หอมด่วนหูลือ หอมด่วนหลวง (ภาคเหนือ) ใบหูลือ เนียมหูลือ (ภาคอีสาน) ย่านใหญ่ (ไทใหญ่) เนียมอีไหลหลัง โห้วฮี้เช่า (จีน) เป็นต้น หูลือเป็นพืชล้มลุกอายุ 2-3 ปี สูงประมาณ 0.3-1 เมตร ลำต้นกลม อวบน้ำมีขนหนาแน่นใบเดี่ยวรูปไข่ปลายใบกลมมน ขอบใบเป็นหยักคลื่น ใบสีเขียวหนาและมียาง

หอมฉุน ดอกเป็นดอกช่อ ผลมีเปลือกแข็งขนาดเล็ก⁴ จากการศึกษาทางพิษเคมีพบสาร euscaphic acid, maslinic acid, oleanolic acid, 2 α -3 α -dihydroxy oleanolic acid, pomolic acid, tormentic acid, ursolic acid, 2 α -3 α -19 α -tetrahydroxy ursolic acid, luteolin, quercetin, salvigenin, taxifolin, nicotinic acid, oxalacetic acid, riboflavin, limonene, vitamin B1, terpinen-4-ol และ thymol มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียยับยั้งเชื้อรายับยั้งยีสต์ฆ่าแมลง กำจัดสารพิษและไม่ก่อให้เกิดการตกค้าง⁵⁻⁶ สารพวก Triterpenes ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีด้านการอักเสบและบรรเทาอาการแพ้⁶ นอกจากนี้ยังพบสรรพคุณทางยาของหูลือที่สามารถนำมาบริโภค เช่น ลำต้นและใบมีรสเผ็ดร้อน ช่วยลดอาการไข้ ลดอาการแน่นท้องจุกเสียดและรักษากลุ่มโรคทางเดินอาหาร⁷ จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นทำให้มีผู้สนใจนำประโยชน์จากหูลือมาใช้งานมากขึ้น แต่ทั้งนี้ยังไม่พบรายงานการนำหูลือมาใช้ประโยชน์ในด้านของการใช้กำจัดสารพิษตกค้างในผัก

เกสซ์ ภัณฑิลา ฟองฟู แกรนูลชนิด เม็ด (Effervescent tablets pharmaceuticals) นอกจากสารสำคัญที่เป็นส่วนผสมของเม็ดฟูชนิดเม็ดยังมีองค์ประกอบสำคัญอีก 3 อย่าง คือ กรดซิตริก (Citric acid) กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) และสารกลุ่มพวกคาร์บอเนต (Carbonates) ซึ่งเมื่อผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะเกิดปฏิกิริยาในน้ำอย่างรวดเร็วโดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ข้อดีของแกรนูลฟองฟูชนิดเม็ดคือสามารถดึงดูดความสนใจของผู้ใช้งานเนื่องจากแกรนูลชนิดเม็ดเมื่อละลายกับน้ำจะทำให้เกิดฟองฟูออกและสะดวกต่อการใช้งาน สำหรับ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดใบหูลีสำหรับนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เม็ดยู โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ประสิทธิภาพในการไล่สารพิษตกค้างในผักและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของผู้บริโภคที่นำผลิตภัณฑ์เม็ดยูจากสารสกัดใบหูลีไปใช้ในการไล่สารพิษตกค้างในผักเพื่อยืดอายุการใช้ประโยชน์จากสารสกัดใบหูลี เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและยกระดับคุณภาพจากการใช้ประโยชน์ของใบหูลีในลำดับต่อไป

วิธีการวิจัย

1. การสกัดใบหูลี นำใบหูลีมาล้างทำความสะอาด เช็ดพอหมาด อบด้วยตู้อบแห้งแบบถาด (Tray dry) อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยเครื่องบดผงละเอียดความเร็ว 32,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 1 นาที นำผงใบหูลีมาสกัดแบบแช่หมักด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในอัตราส่วนผงใบหูลีต่อน้ำกลั่น 0.8: 1, 0.9: 1 และ 1: 1 จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนของสารสกัดไประเหยแห้งโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator)⁵ จะได้สารสกัดใบหูลีความเข้มข้น 80%, 90% และ 100% w/v ตามลำดับ

2. การทำผลิตภัณฑ์เม็ดยูจากสารสกัดใบหูลี นำสารสกัดใบหูลีมาผสมกับแกรนูเลชันซูโครสพื้นฐานที่มีส่วนผสมของกรดซิตริก ($C_6H_8O_7$) กรดทาร์ทริก ($C_4H_6O_6$) โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) และสารสกัดใบหูลี ในอัตราส่วน 1: 2: 3.44: 1 ตามลำดับ

⁸จะได้ผลิตภัณฑ์เม็ดยูจากสารสกัดใบหูลี 3 สูตร

3. ศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เม็ดยูจากสารสกัดใบหูลีทั้ง 3 สูตร โดยทำการทดสอบ 3 ข้อ เพื่อศึกษาน้ำหนักเฉลี่ยต่อเม็ด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และคุณสมบัติในการละลายในน้ำปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นคัดเลือกผลิตภัณฑ์จากสูตรที่ดีที่สุดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการไล่สารพิษตกค้างในผัก

4. ศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เม็ดยูจากสารสกัดใบหูลีเปรียบเทียบกับกรด้างผักแบบแช่ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำเปล่า โดยการนำมาล้างผักตัวอย่าง 3 ชนิด ได้แก่ กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก และผักกาดขาวชนิดละ 100 กรัม มาล้างด้วยการแช่ในสารละลายแต่ละชนิดเป็นเวลา 10 นาทีทำการทดสอบ 3 ข้อ โดยมีอัตราส่วนของสารละลาย ดังนี้ ผลิตภัณฑ์เม็ดยูจากสารสกัดใบหูลี 1 เม็ดละลายในน้ำเปล่า 1 ลิตร โซเดียมไบคาร์บอเนต 5 กรัมละลายในน้ำ 1 ลิตร และน้ำเปล่า 1 ลิตร จากนั้นใช้ชุดตรวจสอบสารป้องกันกำจัดแมลงตกค้างในผลผลิตเกษตร (TV-KIT) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบสารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต และกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ร่วมกับการวัดค่าสีของสารละลายโดย Munsell color system โดยใช้เกณฑ์ดังนี้

Table 1. Analysis of pesticide residues in vegetables

Pesticide residues in vegetables	Munsell color system	Apparent color
Found	5R6/3	Red-purple
	5R6/4	Purple
No found	5R8/1	Light-white
	5R8/2	White

5. ศึกษาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือ โดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงซีลสุญญากาศเป็นระยะเวลา 1, 7, 14, 30 และ 45 วัน และนำมาทดสอบประสิทธิภาพการล้างสารพิษตกค้างในผักกาดขาว โดยทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. ลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือ

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่าผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือความเข้มข้น 80% w/v ลักษณะแกรนูลเม็ดค่อนข้างกลม ขอบเม็ดไม่เรียบ สีขาว ผิวเม็ดมีรูพรุนเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือความเข้มข้น 90% w/v ลักษณะแกรนูลเม็ดกลม ขอบเรียบสีขาว ผิวเม็ดมีรูพรุนปานกลาง ผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือความเข้มข้น 100% w/v ลักษณะแกรนูลเม็ดค่อนข้างกลม ขอบเม็ดขรุขระ สีขาว ผิวเม็ดมีรูพรุนมาก (Figure 1)



Figure 1. Physical characteristics of effervescent tablets from Indian borage. The concentrations of extracts 80% w/v, 90% w/v and 100% w/v show in figure1A, B and C, respectively.

ผลการศึกษาลักษณะผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อเม็ดมากที่สุด คือสูตรความเข้มข้น 90% w/v น้ำหนัก 6.85±0.10 กรัม ใช้เวลาในการละลาย 1.20±0.09 นาที ค่า pH 7.10 รองลงมาคือ สูตรความเข้มข้น 80% w/v น้ำหนัก 6.62±0.15 กรัม ใช้เวลาในการละลาย 1.46±0.12 นาที ค่า pH 7.02 และสูตร

ความเข้มข้น 100% w/v น้ำหนัก 6.02±0.21 กรัม ใช้เวลาในการละลาย 1.11±0.07 นาที ค่า pH 7.22 ตามลำดับ (Table 2) ดังนั้นจึงคัดเลือกผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือสูตรความเข้มข้น 90% w/v ซึ่งเป็นสูตรที่ลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะในภาพรวมเหมาะสมที่สุด เพื่อไปศึกษาประสิทธิภาพในการล้างสารพิษตกค้างต่อไป

Table 2. Product characteristics of effervescent tablets from Indian Borage extraction

Concentration of extracts (% w/v)	Weight per tablet (g)	Water solubility in volume of 1 liter per tablet (minute)	pH
80	6.62±0.15	1.46±0.12	7.02
90	6.85±0.10	1.20±0.09	7.10
100	6.02±0.21	1.11±0.07	7.22

2. ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสือ

ผลจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างพืชตกค้างในผักด้วยผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสื้สุตรความเข้มข้น 90% w/v กับการล้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต และน้ำเปล่าให้ผลดังนี้

2.1 ประสิทธิภาพการล้างกะหล่ำปลี พบว่า

การไม่ล้าง ล้างด้วยน้ำเปล่า ล้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต พบสารพืชตกค้าง โดยให้ค่าสีระบบ Munsell เท่ากับ 5R6/4 5R6/4 และ 5R6/3 ปรากฏสีม่วง สีม่วง และสีม่วงแดง ตามลำดับ การล้างด้วยผลิตภัณฑ์สารสกัดเม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสื้ไม่พบสารพืชตกค้าง ค่าสีระบบ Munsell เท่ากับ 5R8/2 สีไม่มีสี (Table 3)

Table 3. Efficiency of cabbage washing

Washing	Munsell color system	Apparent color	Pesticide residues in vegetables
Control	5R6/4	Purple	Found
Water	5R6/4	Purple	Found
NaHCO ₃	5R6/3	Red-purple	Found
Effervescent tablets from Indian borage extraction	5R8/2	White	Not found

2.2 ประสิทธิภาพการล้างกะหล่ำดอก พบว่าการไม่ล้าง ล้างด้วยน้ำเปล่า และล้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตพบสารพืชตกค้าง โดยให้ค่าสีระบบ Munsell เท่ากับ 5R6/4 5R6/4 และ 5R6/3 ปรากฏ

สีม่วง สีม่วง และสีม่วงแดง ตามลำดับ การล้างด้วยผลิตภัณฑ์สารสกัดเม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสื้ไม่พบสารพืชตกค้าง ค่าสีระบบ Munsell เท่ากับ 5R8/2 สีไม่มีสี (Table 4)

Table 4. Efficiency of cauliflower washing

Washing	Munsell color system	Apparent color	Pesticide residues in vegetables
Control	5R6/4	Purple	Found
Water	5R6/4	Purple	Found
NaHCO ₃	5R6/3	Red-purple	Found
Effervescent tablets from Indian Borage extraction	5R8/2	White	Not found

2.3 ประสิทธิภาพการล้างผักกาดขาว พบว่าการไม่ล้าง ล้างด้วยน้ำเปล่า และล้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตพบสารพิษตกค้าง โดยให้ค่าสีระบบ Munsell เท่ากับ 5R6/4 5R6/4 และ 5R6/3 โดยปรากฏ

สีม่วง สีม่วง และสีม่วงแดง ตามลำดับ การล้างด้วยผลิตภัณฑ์สารสกัดเม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูลือ ไม่พบสารพิษตกค้าง โดยค่าสีระบบ Munsell เท่ากับ 5R8/1 สีไม่มีสี (Table 5)

Table 5. Efficiency of Chinese cabbage washing

Washing	Munsell color system	Apparent color	Pesticide residues in vegetables
Control	5R6/4	Purple	Found
Water	5R6/4	Purple	Found
NaHCO ₃	5R6/3	Red-purple	Found
Effervescent tablets from Indian Borage extraction	5R8/1	Light-white	Not found

3. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูลือ

ผลการศึกษาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูลือ โดยการเก็บไว้ในถุงซีลสุญญากาศในระยะเวลา 0, 7, 14, 30 และ 45 วัน พบว่า ผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูลือยังคงสภาพของเม็ดในลักษณะปกติ มีคุณภาพในการ

ละลายตั้งแต่ 1.22 นาที ถึง 1.54 นาที โดยความสามารถในการละลายจะลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาที่เก็บรักษา และตลอดการศึกษาด้านระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูลือสามารถล้างผักกาดขาวได้โดยไม่พบสารพิษตกค้างในผัก (Table 6)

Table 6. Preservation of effervescent tablets from Indian borage extraction

Days	Water solubility in volume of 1 liter per tablet (minute)	Munsell color system	Apparent color	Pesticide residues in vegetables
0	1.22±0.11	5R8/2	White	Not found
7	1.31±0.22	5R8/2	White	Not found
14	1.33±0.43	5R8/2	White	Not found
30	1.40±0.23	5R8/2	White	Not found
40	1.54±0.40	5R8/2	White	Not found

การอภิปรายผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสือ

จากการวิเคราะห์ลักษณะกายภาพของแกรนูลเม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสือ พบว่า สูตรความเข้มข้นจากสารสกัดใบหูเสือ 80% w/v ก่อนอัดเม็ดมีลักษณะเป็นผงค่อนข้างแห้ง ทำให้การจับเป็นก้อนของเม็ดฟู่ไม่แน่นและมีลักษณะขอบเม็ดไม่เรียบ น้ำหนักเฉลี่ยต่อเม็ดจึงอยู่ระดับปานกลางเมื่อเทียบกับสูตรความเข้มข้น 90% w/v และ 100% w/v สูตรความเข้มข้น 90% w/v มีลักษณะของผงแกรนูลก่อนอัดเม็ดค่อนข้างชื้น เมื่ออัดเม็ดมีความแข็งแรง ทำให้เม็ดมีลักษณะกลมขอบเรียบจึงมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อเม็ดสูงกว่าทุกสูตร และสูตรความเข้มข้น 100% w/v แกรนูลก่อนอัดเม็ดมีลักษณะเป็นผงชื้น เมื่อทำการอัดเม็ดมีลักษณะค่อนข้างกลมแต่ไม่แน่น การจับกันเป็นก้อนได้น้อยกว่าความเข้มข้น 80% w/v และ 90% w/v จึงทำให้มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อเม็ดต่อน้อยที่สุด

คุณสมบัติการละลายของผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่มีแนวโน้มเร็วขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดใบหูเสืออย่างเห็นได้ชัด (Table 2) เนื่องจากสารสกัดใบหูเสือมีองค์ประกอบของ Carvacrol และ Thymol

ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลของน้ำมันออริกาโน (Oregano essential oil) มีคุณสมบัติในการละลาย⁶ และจากการศึกษาของ กชมนและวัชรชัย⁶ ได้อธิบายถึงกลไกการละลายของเม็ดฟู่ที่มีส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหยว่า น้ำมันหอมระเหยจะไปแทรกตัวระหว่างน้ำซึ่งเป็นชั้นของฟิล์มของฟองอากาศทำให้เม็ดฟู่ฟองแตกเร็วขึ้นจึงละลายน้ำได้เร็วขึ้น โดยทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับใกล้เคียงกันคือ ตั้งแต่ 7.02-7.22 เป็นเบสอ่อน และจากการศึกษาของปัทมา เสนาทอง⁹ พบว่าค่า pH 7.00 เป็นค่าที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างผักที่ใช้ล้างสารกำจัดศัตรูพืชและฟอร์มาลีนตกค้างในผัก

ดังนั้นจึงคัดเลือกผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสือสูตรความเข้มข้น 90% w/v ซึ่งเป็นสูตรที่มีลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะในภาพรวมเหมาะสมที่สุด เพื่อไปศึกษาประสิทธิภาพในการล้างสารพิษตกค้างต่อไป

ประสิทธิภาพของของผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสือสูตรความเข้มข้น 90% w/v

ผลจากการล้างผักตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด โดยเปรียบเทียบวิธีการล้าง พบว่า ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เม็ดฟู่จากสารสกัดใบหูเสือสามารถล้างสารพิษตกค้างในผักตัวอย่างได้ทั้ง 3 ชนิด และ

มีประสิทธิภาพดีกว่าการล้างน้ำเปล่าและโซเดียมไบคาร์บอเนต (Table 3-5) เนื่องจากสารพิษตกค้างในผักตัวอย่างที่ทำการทดสอบเป็นสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และคาร์บาเมตซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีในการละลายได้ดีในน้ำมันหรือแอลกอฮอล์ และสามารถละลายได้เพียงเล็กน้อยในน้ำ ดังนั้นเมื่อล้างด้วยผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตที่ตกค้างในผักได้ร้อยละ 100 จะสามารถชำระล้างสารพิษตกค้างในผักได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำเปล่าและโซเดียมไบคาร์บอเนต จากศึกษาทางพิษเคมีของใบหูลือพบว่าสารที่องค์ประกอบหลักคือ Triterpenes ได้แก่ Euscaphic acid, Ursolic acid, Oleic acid สารพวก Monoterpenes ได้แก่ Limonene และสาร Flavonoids ที่มี Catechol เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Flavonol เช่น Quercetin ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ยับยั้งเชื้อรา ยับยั้งยีสต์ และกำจัดสารจากยาฆ่าแมลง¹ สอดคล้องกับการศึกษาของ ภานุวัฒน์ และคณะ¹⁰ ที่ทำการศึกษาความเข้มข้นของยาสมุนไพรสกัดออร์กาโนฟอสเฟต Carvacrol และ Thymol สามารถยับยั้งการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย โดยเกิดการซึมผ่านของของเหลวจากนอกเซลล์จึงทำให้แบคทีเรียตายในที่สุด และกำจัดสารพิษไม่ก่อให้เกิดการตกค้าง

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือ

ผลจากการศึกษาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือพบว่าสามารถเก็บไว้ได้อย่างน้อย 45 วัน เนื่องจากเก็บไว้ในถุงซีลสุญญากาศ ทำให้ไม่ได้รับปัจจัยที่นำไปสู่การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อากาศ ความชื้น อุณหภูมิ เป็นต้น จึงสามารถคงสภาพและประสิทธิภาพการใช้งานได้

สรุปผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือจากสูตรความเข้มข้นของสารสกัด 90% w/v เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีน้ำหนักต่อเม็ดสูงที่สุดและใช้ระยะเวลาในการละลายน้ำน้อยที่สุด โดยมีความเป็นเบสอ่อน ผลิตภัณฑ์เม็ดฟูจากสารสกัดใบหูลือสามารถล้างสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตที่ตกค้างในผักได้ร้อยละ 100 จากผักกลุ่มตัวอย่าง และสามารถเก็บรักษาไว้ในถุงซีลสุญญากาศได้อย่างน้อย 45 วัน ดังนั้นการนำสารสกัดใบหูลือมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เม็ดฟูเพื่อล้างสารพิษตกค้างในผัก จึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกในการล้างสารพิษตกค้างในผัก ก่อนนำไปบริโภค และสะดวกต่อการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

1. ปกรชล อุทัยพร. วิฤตเคมีเกษตร-ความปลอดภัยด้านอาหาร 2565 [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 1 พฤษภาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://greennews.agency/?p=32457>
2. สุธาสิณี อึ้งสูงเนิน. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2558;9:50-63.
3. ศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก. วิธีการล้างและคัดเลือกผักและผลไม้ให้ปลอดภัยเพื่อลดความเสี่ยงของสารเคมีตกค้าง [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 1 พฤษภาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.gj.mahidol.ac.th/main/knowledge-2/vegetable/>.



4. บุญยาพร สะทองรอด. ศักยภาพของน้ำมันหอมระเหยจากใบหูเสือ (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng.) และใบกระดุมทองเล็ก (*Wedelia trilobata*) ป้องกันกำจัดด้วยตัวเหี่ยว (*Callosobruchus maculatus*). [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2564.
5. ระวีวรรณ แก้วอมตวงศ์, ทรงพร จึงมั่นคง.ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณสารฟีนอลรวมของสารสกัดพืชสมุนไพรไทยบางชนิด. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2549;8:76-88.
6. นันทวัน บุญยะประภัศร, อรุณช ไซค์ชัยเจริญพร. สมุนไพรพื้นบ้าน . พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ประชาชน; 2542.
7. อัสมา สมนึก. การศึกษาความหลากหลายและภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้สมุนไพรเพื่อสร้างองค์ความรู้ทางการแพทย์แผนไทย กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี. การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย ครั้งที่ 6; 2561; ราชบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง; 2561.
8. กชมน ยอดคำ, ธวัชชัย แพชมัด. การพัฒนาตำรับแกรนูลฟองฟูของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยสร้างสรรค์ศิลปากรวิจัย ครั้งที่ 4; 2554; นครปฐม : มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2554.
9. ปัทมา เสนทอง, ลิเลียน วิวัฒน์, จตุพล โยธาโคตร, สุทธิณี เพ็ชรสีทอง, กัญธิชา ศรีธิชา. ประสิทธิภาพของน้ำยาล้างผักต่อชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชและปริมาณฟอรัมาลินตกค้างในผัก. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 2561;18:1-10.
10. ภาณุวัฒน์ แยมสกุล, ประภาส พันธ์, โกษา ปัญญาโกษา, สมปรียา แสงไฟ, ดวงพร พิษผล. การศึกษาความเข้มข้นของยาสมุนไพรสกัดออกฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* ที่แยกได้จากอุจจาระสุกรหลังหย่านมที่มีอาการท้องเสียในฟาร์มเขตเชียงใหม่-ลำพูน ในห้องปฏิบัติการ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43; 2548; กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2548.

ผลของพริกแกงไทยและแก่นตะวันต่อการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์เกี๊ยวซ่า

Effect of Thai Curry Paste and Jerusalem Artichoke on Consumer Acceptance of Gyoza Products

วิชชума เตชะสิริวิชัย* และปรีดิพร เพ็ชรใหญ่

Wichuma Tachasiriwichai* and Preedion Phetyai

สาขาการประกอบและบริการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600

Cookery and Food Service, Bansomdejchaopaya Rajabhat University, Bangkok 10600

*Corresponding author; E-mail: wichuma.ta@gmail.com

Received: 04 September 2023 /Revised: 26 December 2023 /Accepted: 26 December 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเสริมพริกแกงไทยต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์เกี๊ยวซ่าแก่นตะวัน ทั้ง 4 รสชาติ คือ พริกแกงเผ็ด พริกแกงกะหรี่ พริกแกงเขียวหวาน และพริกแกงคั่ว ที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักส่วนผสมไส้เกี๊ยวซ่า ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบความชอบแบบ 9 ระดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เสริมรสพริกแกงเผ็ดและรสพริกแกงกะหรี่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดที่ร้อยละ 15 รสพริกแกงเขียวหวานและรสพริกแกงคั่วได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดที่ร้อยละ 10 จากนั้นศึกษาหาปริมาณผงแก่นตะวันที่ใช้ทดแทนแป้งเกี๊ยวซ่าที่ระดับร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ของส่วนผสมแป้งเกี๊ยวซ่าทั้งหมด ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธีการทดสอบความชอบแบบ 9 ระดับ ซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์รสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวานและรสพริกแกงคั่วได้รับคะแนนความชอบปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งเกี๊ยวซ่าที่ร้อยละ 2 ด้านสี รสชาติและความชอบโดยรวมสูงสุด ทั้ง 4 รสพริกแกงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คุณภาพทางกายภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์เกี๊ยวซ่าแก่นตะวันพบว่า รสพริกแกงคั่วมีค่า L^* สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรสพริกแกงเผ็ดรสพริกแกงกะหรี่ และรสพริกแกงเขียวหวาน ค่า a^* และค่า b^* รสพริกแกงคั่วมีค่าน้อยกว่ารสพริกแกงเผ็ดรสพริกแกงกะหรี่ และรสพริกแกงเขียวหวาน ค่าปริมาณน้ำอิสระทั้ง 4 รสชาติเท่ากับ 0.97 คุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์เกี๊ยวซ่าแก่นตะวัน 100 กรัม รสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวาน และรสพริกแกงคั่ว ให้พลังงาน 193.90, 207.03, 205.92 และ 223.38 กิโลแคลอรี โปรตีน 7.10, 7.16, 7.31 และ 8.03 กรัม ไขมัน 8.98, 8.91, 12.00 และ 9.30 กรัม คาร์โบไฮเดรต 21.17, 24.55, 17.17 และ 26.89 กรัม ความชื้น 61.62, 58.01, 62.43 และ 54.66 กรัม เกลือ 1.13, 1.37, 1.05 และ 1.12 กรัม ตามลำดับ พบจุลินทรีย์ทั้งหมด CFU/กรัม น้อยกว่า 1×10^6

คำสำคัญ: พริกแกงเผ็ด พริกแกงกะหรี่ พริกแกงเขียวหวาน พริกแกงคั่ว แก่นตะวัน เกี๊ยวซ่า



Abstract

The objective of this research was to study the effect of supplemented Thai curry paste on the acceptance 4 flavors of Jerusalem artichoke gyoza products: red curry paste, yellow curry paste, green curry paste and roasted chili curry paste at the levels of 5%, 10% and 15% of the weight of the gyoza filling ingredients. The sensory quality using 9-point hedonic scale preference test method, it was found that products supplemented with red curry paste and yellow curry paste received the highest overall preference score of 15%, green curry paste and roasted chili curry paste received the highest overall preference score of 10%. Then, study the amount of Jerusalem artichoke powder used as a replacement for gyoza flour at the level of 0%, 2%, 4% and 6% of the total gyoza flour. The sensory quality using 9-point hedonic scale preference test method found that products red curry paste, yellow curry paste, green curry paste and roasted chili curry paste received a liking score for the amount of Jerusalem artichoke powder substituted for gyoza flour at 2% in terms of color, taste and highest overall. Thai curry pastes of 4 flavors showed statistically significant differences ($p \leq 0.05$). Physical quality of color of Jerusalem artichoke gyoza products demonstrated that the roasted chili curry paste showed a higher value L^* compared to the red curry paste, yellow curry paste and green curry paste, the values a^* and values b^* , roasted chili curry paste is less than the red curry paste, yellow curry paste and green curry paste. The water activity of all 4 flavors was 0.97. In terms of nutritional values, 100 g. of Jerusalem artichoke gyoza products (red curry paste, yellow curry paste, green curry paste and roasted chili curry paste) contained energy of 193.90, 207.03, 205.92 and 223.38 kcal., protein (7.10, 7.16, 7.31 and 8.03 g.), fat (8.98, 8.91, 12.00 and 9.30 g.), carbohydrates (21.17, 24.55, 17.17 and 26.89 g.), moisture (61.62, 58.01, 62.43 and 54.66 g.) and ash of 1.13, 1.37, 1.05 and 1.12 g., respectively. Total microorganisms CFU/g less than 1×10^6 .

Keywords: Red curry paste, Yellow curry paste, Green curry paste, Roasted chilli curry paste, Jerusalem artichoke, Gyoza

บทนำ

เหี่ยวซ่า เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเป็นอย่างมาก มีส่วนประกอบวัตถุดิบหลักของเนื้อสัตว์และผักที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง เหี่ยวซ่าจัดอยู่ในกลุ่มประเภทอาหารว่างพร้อมบริโภค สะดวกต่อการรับประทาน มีกรรมวิธีในการประกอบอาหารที่แตกต่างกัน ทั้งแบบการทอดในน้ำและทอดในน้ำมัน เหี่ยวซ่าเป็นเมนูอาหารว่างที่สามารถรับประทานได้ทุกเพศทุกวัย มีขายทั่วไปในประเทศจีนและญี่ปุ่น มีกรรมวิธีการทำคล้ายคลึงกัน จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นตัวแป้งมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ แป้งสาลีอเนกประสงค์ที่นำมาผัดกับน้ำให้เข้ากัน แล้วนำมาคลึงหรือรีดเป็นแผ่นบาง ๆ ส่วนของตัวไส้มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ เนื้อสัตว์และผักที่นำมาปรุงรสชาติต่างกลิ่นด้วยการใส่เครื่องเทศสมุนไพรที่มีประโยชน์ โดยจะรับประทานคู่กับน้ำจิ้ม และปัจจุบันไส้เหี่ยวซ่าที่มีจำหน่าย ส่วนใหญ่จะมีไส้หมูสับไก่สับหรือกุ้งสับ การนำพริกแกงไทยรสชาติต่าง ๆ มาเป็นส่วนผสมของไส้เหี่ยวซ่า จะเป็นการสร้างมูลค่าให้กับพริกแกงไทยและเป็นการอนุรักษ์ภูมิปัญญาและวัฒนธรรมอาหารไทย¹

พริกแกงไทย เป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการประกอบอาหารไทย ได้รับอิทธิพลมาจากแกงของประเทศอินเดีย คนไทยในอดีตได้พัฒนาสูตรและรสชาติเครื่องแกงสมุนไพรไทย ด้วยการลดเครื่องเทศบางชนิดเพิ่มสมุนไพรพื้นบ้านลงไป เช่น ข่า ตะไคร้ รากผักชี เป็นต้น โดยเครื่องแกงที่ใช้ในการประกอบอาหารไทยนั้นมีหลายชนิดแตกต่างกันในด้านของวัตถุดิบที่นำมาผสมทำเป็นเครื่องแกง และวัตถุประสงค์ในการนำเครื่องแกงนั้นไปประกอบอาหาร เช่น น้ำพริกแกงเผ็ด แกงกะหรี่ แกงเขียวหวาน

และแกงคั่ว เป็นต้น การนำเครื่องเทศสมุนไพรดังกล่าวมาโขลกเข้าด้วยกัน จะทำให้สารพฤกษเคมีหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ออกมาผสมรวมกันและออกฤทธิ์ ทั้งเสริมหรือต้านกันจนก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งต่อสุขภาพ ปัจจุบันมีการศึกษาการยอมรับการใช้เครื่องแกงมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบไก่สับข้าวยาเครื่องแกง² การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไก่ยอเสริมแป้งกล้วยและน้ำพริกไส้อั่ว³

แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke หรือ Sunchoke) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus tuberosus* L. เป็นพืชหัวใต้ดินคล้ายมันฝรั่งรับประทานได้ เป็นพืชตระกูลเดียวกับทานตะวัน มีดอกสีเหลืองคล้ายดอกบัวตอง แต่มีขนาดเล็ก ลักษณะหัวรูปร่างคล้ายขิงขอบ เปลือกมีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อในสีขาว เป็นพืชที่มีการสะสมอินนูลินในหัวใต้ดินมากถึงร้อยละ 14-19 ของน้ำหนักหัวสด ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีสมบัติเป็นใยอาหารและมีสารไฟโบรไอติก⁴ อินนูลินจะมีสมบัติกระตุ้นการหลั่งของน้ำดี ขับปัสสาวะ เป็นสารอาหารที่ให้ความหวานไม่ถูกย่อยในกระเพาะและลำไส้เล็กจะสามารถอยู่ในระบบทางเดินอาหารได้เป็นเวลานาน ทำให้ไม่รู้สึกหิว จะรู้สึกอยากรับประทานอาหารได้น้อยลง และไม่เพิ่มน้ำตาลในเลือด อินนูลินมีพลังงานต่ำ จึงช่วยในการลดความอ้วน ป้องกันความเสี่ยงของโรคเบาหวาน และลดความดันเลือดได้ดี⁵ เสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย อินนูลินเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่หาได้ในธรรมชาติ ซึ่งมีอยู่ในต้นกระเทียม หัวกระเทียม หัวหอม หน่อไม้ฝรั่ง และจะมีอยู่มากในหัวของเยรูซาเลมอาร์ติโชค (Jerusalem artichoke) หรือในชื่อภาษาไทยว่า“แก่นตะวัน” อินนูลินมีประโยชน์ต่อระบบทางเดิน

อาหารในร่างกายเพราะมีพรีไบโอติก⁶ ซึ่งปัจจุบันมีการนำแก่นตะก้นมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารให้มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น เช่น ไอศกรีม⁷ ทองม้วน⁸ หม้อแกง⁹ เป็นต้น

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะใช้พริกแกงไทยในการศึกษาการยอมรับในผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้าว รวมทั้งต้องการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากการนำแก่นตะก้นมาทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้าวนี้ยังสามารถเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตร

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาการเสริมพริกแกงไทยต่าง ๆ ในการทำเกี่ยวข้าว 4 รสชาติ

ผู้วิจัยได้คัดเลือกพริกแกงเผ็ด พริกแกงกะหรี่ พริกแกงเขียวหวาน และพริกแกงคั่ว¹⁰ และผสมในผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้าวในปริมาณที่ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักส่วนผสมใส่เกี่ยวข้าว ด้วยการนำส่วนผสมของพริกแกงทั้ง 4 รสชาติมาโขลกให้ละเอียด จากนั้นนำพริกแกงมานวดผสมตัวใส่เกี่ยวข้าวพื้นฐาน ส่วนผสมพริกแกงพื้นฐานมีส่วนประกอบดังนี้ (Table 1)

Table 1. Ingredient of 4 Thai curry paste

Ingredient (%)	Red curry paste	Yellow curry paste	Green curry paste	Roasted chilli curry paste
Dried Red chili	18.95	18.65	-	20.57
Green chilli	-	-	13.82	-
Yellow chili	-	-	6.92	-
Bird chilli	-	-	3.68	-
Coriander	-	-	4.60	-
Galangal	2.63	2.59	2.30	2.85
Bergamot peel	1.06	1.04	0.92	1.14
Lemon Grass	7.89	7.78	6.92	8.58
Coriander root	7.89	7.78	6.92	8.58
Shallot	23.68	23.31	20.74	25.72
Garlic	23.68	23.31	20.74	25.72
White pepper	1.06	1.04	0.93	1.14
Coraninder seed	5.27	4.14	3.68	-
Caraway seed	2.63	3.62	3.23	-
Shrimp paste	2.63	2.59	2.30	2.85
Salt	2.63	2.59	2.30	2.85
Curry powder	-	1.56	-	-

เมื่อได้น้ำพริกแกงทั้ง 4 รสชาติ จึงนำมาผัดผสมตัวไส้แกวซาพื้นฐานจากสูตรพื้นฐานประกอบด้วย หมูสามชั้นบดละเอียดร้อยละ 31.18 สันคอหมูบดละเอียดร้อยละ 20.80 กระเทียมไทยสับละเอียดร้อยละ 29.10 หอมหัวใหญ่สับร้อยละ 8.32 กระเทียมไทยสับละเอียดร้อยละ 2.08 ขิงสับละเอียดร้อยละ 1.04 แป้งข้าวโพดร้อยละ 2.08 เกลือป่นร้อยละ 0.62 น้ำตาลทรายร้อยละ 1.04 น้ำมันงาร้อยละ 1.04 ไข่ยูละ 2.08 พริกไทยร้อยละ 0.62 ส่วนผสมตัวไส้สูตรพื้นฐานประกอบด้วย แป้งสาลีอเนกประสงค์ร้อยละ 65.73 เกลือป่นร้อยละ 1.41 และน้ำสะอาดร้อยละ 32.86

นำแกวซาที่ศึกษาปริมาณพริกแกงทุกรสชาติมาขึ้นรูปเป็นตัวแกวซาและใช้วิธีการทอดในน้ำ ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยทำการทดสอบการยอมรับจากผู้ทดสอบระดับฝึกฝนจำนวน 15 คน¹¹ ให้คะแนนแบบ 9-Point hedonic scale คัดเลือกปริมาณที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

2. ศึกษาปริมาณผงแค้นตะวันที่ใช้ทดแทนในแป้งแกวซา

ผงแค้นตะวันที่ใช้สำหรับทดแทนแป้งแกวซาที่ระดับร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ของส่วนผสมแป้งแกวซาทั้งหมด โดยผู้วิจัยเติมผงแค้นตะวันที่มาทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ในการทำแป้งแกวซา นำมาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยการทดสอบการยอมรับผู้บริโภคนาน 50 คน¹² ให้คะแนนแบบ 9-Point hedonic scale¹¹ คัดเลือกปริมาณที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

2.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร และคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ดังนี้

- วิเคราะห์ค่าสีของตัวแกวซาที่มีส่วนผสมของไส้พริกแกง ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง), a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ด้วยวิธี HunterLab colorQuest XE¹³

- วัดค่ากิจกรรมของน้ำ Water activity (aw) ด้วยวิธีการ In-house method T9207 based on AOAC Z2019X 978.18¹³

- ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี/คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณสารอาหารของผลิตภัณฑ์การวิจัยครั้งนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณพลังงานและคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธี Method of Analysis for Nutrition Labeling 1993, Chapter 1, 5¹³ ปริมาณความชื้น ด้วยวิธี In-house method T923 based on AOAC (2019) 925.10¹³ ปริมาณเถ้า ด้วยวิธี In-house method T924 based on AOAC (2019) 923.03¹³ ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี In-house method T9258 based on AOAC (2019) 992.15¹³ ปริมาณไขมัน ด้วยวิธี In-house method T966 based on AOAC (2019) 922.06¹³

- วิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ หาปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธี FDA BAM Online, 2001 (Chapter 3)¹³

3. การวิเคราะห์ข้อมูล ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ให้คะแนนแบบ 9-Point hedonic scale¹¹ จัดแผนการทดลองใช้แบบการวัดซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน One-Way ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการเสริมพริกแกงไทยต่าง ๆ ในการทำเกี๊ยวซ่า 4 รสชาติ

จากสูตรเกี๊ยวซ่าผสมพริกแกงไทย 4 รสชาติ ได้แก่ รสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวาน และพริกแกงคั่ว ที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักส่วนผสมไส้เกี๊ยวซ่า จากผู้ทดสอบระดับฝึกฝนจำนวน 15 คน¹¹ พบว่ารสพริกแกงเผ็ดได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบปริมาณพริกแกงเผ็ดร้อยละ 15 ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (Table 2) รสพริกแกงกะหรี่ได้รับคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบปริมาณพริกแกงกะหรี่ร้อยละ 15 ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ย

สูงสุด (Table 3) รสพริกแกงเขียวหวานได้รับคะแนนความชอบด้านสี และกลิ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบปริมาณพริกแกงเขียวหวานร้อยละ 10 ในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (Table 4) รสพริกแกงคั่ว ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบปริมาณพริกแกงคั่วร้อยละ 10 ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (Table 5) เมื่อพิจารณาในแต่ละด้านคุณลักษณะรสพริกแกงเผ็ดและรสพริกแกงกะหรี่ร้อยละ 15 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด รสพริกแกงเขียวหวานและรสพริกแกงคั่วร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด ผู้วิจัยจึงเลือกนำมาศึกษาการเสริมผงแกงกะหรี่ในขั้นตอนต่อไป

Table 2. Sensory score of gyoza mixed with red curry paste at different levels of 5%, 10% and 15%

Sensory features	5%	10%	15%
Color	6.67±0.72 ^{ns}	6.87±0.99 ^{ns}	7.07±0.96 ^{ns}
Smell	6.47±1.36 ^{ab}	6.31±1.10 ^b	7.20±1.32 ^a
Taste	6.07±1.28 ^{ab}	5.87±1.46 ^b	7.13±1.73 ^a
Texture	6.73±0.96 ^{ns}	6.87±0.74 ^{ns}	7.07±0.88 ^{ns}
Overall preference	6.33±0.90 ^b	6.40±0.83 ^b	7.07±0.80 ^a

The different letters in the same row indicate significantly different ($p \leq 0.05$).

ns: Not significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 3. Sensory score of gyoza mixed with yellow curry paste at different levels of 5%, 10% and 15%

Sensory features	5%	10%	15%
Color	7.07±0.70 ^{ns}	7.13±0.83 ^{ns}	7.10±1.15 ^{ns}
Smell	6.33±1.68 ^{ns}	6.60±1.06 ^{ns}	7.33±1.29 ^{ns}
Taste	6.93±0.59 ^{ns}	7.20±0.77 ^{ns}	7.47±0.74 ^{ns}
Texture	6.87±0.64 ^{ns}	7.07±0.59 ^{ns}	7.27±0.88 ^{ns}
Overall preference	6.93±1.10 ^b	7.53±0.64 ^{ab}	7.73±0.78 ^a

The different letters in the same row indicate significantly different ($p \leq 0.05$).

ns: Not significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 4. Sensory score of gyoza mixed with green curry paste at different levels of 5%, 10% and 15%

Sensory features	5%	10%	15%
Color	7.27±0.46 ^a	7.20±0.68 ^a	6.67±0.82 ^b
Smell	6.87±0.64 ^a	7.07±1.10 ^a	5.87±0.59 ^b
Taste	6.53±0.83 ^{ns}	6.93±0.80 ^{ns}	6.47±0.74 ^{ns}
Texture	6.80±0.94 ^{ns}	7.07±0.96 ^{ns}	6.40±0.91 ^{ns}
Overall preference	7.33±0.82 ^{ns}	7.40±0.99 ^{ns}	6.87±0.99 ^{ns}

The different letters in the same row indicate significantly different ($p \leq 0.05$).

ns: Not significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 5. Sensory score of gyoza mixed with roasted chilli curry paste at different levels of 5%, 10% and 15%

Sensory features	5%	10%	15%
Color	6.53±0.99 ^{ns}	7.07±0.96 ^{ns}	6.40±0.99 ^{ns}
Smell	6.73±0.59 ^{ns}	6.80±0.98 ^{ns}	6.20±1.57 ^{ns}
Tast	7.07±0.70 ^{ab}	7.27±0.71 ^a	6.40±1.18 ^b
Texture	7.20±0.64 ^{ns}	7.40±0.99 ^{ns}	7.07±0.70 ^{ns}
Overall preference	6.80±0.56 ^{ns}	7.27±0.70 ^{ns}	6.87±0.83 ^{ns}

The different letters in the same row indicate significantly different ($p \leq 0.05$).

ns: Not significantly different ($p \leq 0.05$)

2. ผลการศึกษาปริมาณผงแก่นตะวันที่ใช้ทดแทนในแป้งเกี๊ยวซ่า

การเสริมปริมาณผงแก่นตะวันในระดับร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ของส่วนผสมแป้งเกี๊ยวซ่าทั้งหมดพบว่า ปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งสาลีในรสพริกแกงเผ็ด ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คะแนนความชอบปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งสาลีในพริกแกงเผ็ดร้อยละ 2 ในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (Table 6) ปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งสาลีในรสพริกแกงกะหรี่ ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คะแนนความชอบปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งสาลีในพริกแกงกะหรี่ร้อยละ 2 ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (Table 7) ปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งสาลีในพริกแกงเขียวหวาน ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คะแนนความชอบปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งสาลีในพริกแกงเขียวหวานร้อยละ 2 ในด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (Table 8) ปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งสาลีในรสพริกแกงคั่ว ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คะแนนความชอบปริมาณผงแก่นตะวันทดแทนแป้งสาลีในพริกแกงคั่วร้อยละ 2 ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (Table 9) เมื่อพิจารณาในแต่ละด้านคุณลักษณะรสพริกแกงกะหรี่และรสพริกแกงคั่วร้อยละ 2 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด รสพริกแกงเผ็ดร้อยละ 2 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงสุด รสพริกแกงเขียวหวานร้อยละ 2 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงสุด ผู้วิจัยจึงเลือกร้อยละ 2 ของทุกรสพริกแกง นำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

Table 6. Sensory score of gyoza mixed with red curry paste and substituted with Jerusalem artichoke powder at various levels of 0%, 2%, 4% and 6%

Sensory features	0%	2%	4%	6%
Color	7.84±0.55 ^a	7.88±0.60 ^a	7.00±0.76 ^b	7.12±0.53 ^b
Smell	7.64±0.76 ^a	7.80±0.50 ^a	6.84±0.69 ^b	6.80±0.58 ^b
Taste	7.56±0.65 ^a	7.84±0.69 ^a	6.36±0.99 ^b	6.20±1.00 ^b
Texture	7.92±0.95 ^a	7.66±0.79 ^a	7.08±1.04 ^b	6.12±0.60 ^c
Overall preference	7.76±0.52 ^a	7.84±0.47 ^a	7.08±0.99 ^b	6.68±0.99 ^b

The different letters in the same row indicate significantly different ($p \leq 0.05$).

ns: Not significantly different ($p \leq 0.05$)



Table 7 . Sensory score of gyoza mixed with yellow curry paste and substituted with Jerusalem artichoke powder at various levels of 0%, 2%, 4% and 6%

Sensory features	0%	2%	4%	6%
Color	7.92±0.76 ^b	8.28±0.68 ^a	7.24±0.93 ^c	7.12±0.83 ^c
Smell	7.84±0.80 ^{ab}	7.92±0.76 ^a	7.20±0.65 ^b	7.64±0.64 ^{ab}
Taste	7.28±0.98 ^b	8.16±0.85 ^a	6.56±0.99 ^c	6.44±0.65 ^c
Texture	7.36±0.64 ^b	7.96±0.79 ^a	6.44±0.65 ^c	6.20±1.00 ^c
Overall preference	7.96±0.94 ^b	8.72±0.61 ^a	7.12±0.74 ^c	7.04±0.61 ^c

The different letters in the same row indicate significantly different ($p \leq 0.05$).

ns: Not significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 8. Sensory score of gyoza mixed with green curry paste and substituted with Jerusalem artichoke powder at various levels of 0%, 2%, 4% and 6%

Sensory features	0%	2%	4%	6%
Color	7.60±0.50 ^{ab}	7.96±0.54 ^a	7.20±0.79 ^b	7.28±1.20 ^b
Smell	7.68±0.56 ^a	7.40±0.65 ^a	7.12±0.78 ^{ab}	6.92±0.64 ^b
Taste	7.88±0.73 ^a	7.96±0.54 ^a	7.36±1.15 ^b	6.80±1.26 ^b
Texture	8.16±0.62 ^a	8.20±0.58 ^a	7.04±0.61 ^b	5.88±0.76 ^c
Overall preference	8.20±0.64 ^a	8.36±0.86 ^a	7.36±0.64 ^b	6.32±0.56 ^c

The different letters in the same row indicate significantly different ($p \leq 0.05$).

ns: Not significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 9 . Sensory score of gyoza mixed with roasted chilli curry paste and substituted with Jerusalem artichoke powder at various levels of 0%, 2%, 4% and 6%

Sensory features	0%	2%	4%	6%
Color	7.16±0.99 ^{ab}	7.32±0.90 ^a	6.72±1.06 ^b	6.68±0.69 ^b
Smell	7.32±1.35 ^{ab}	7.48±0.87 ^a	7.16±0.80 ^{ab}	6.92±0.70 ^b
Taste	7.16±1.11 ^{ab}	7.28±0.94 ^a	6.88±1.01 ^{ab}	6.72±0.84 ^b
Texture	7.36±1.04 ^a	7.40±0.65 ^a	7.16±1.14 ^{ab}	6.92±0.49 ^b
Overall preference	7.40±1.00 ^{ab}	7.64±0.91 ^a	7.24±1.01 ^{ab}	7.00±0.65 ^b

The different letters in the same row indicate significantly different ($p \leq 0.05$).

ns: Not significantly different ($p \leq 0.05$)

3. คุณสมบัติทางกายภาพด้านสี

ผลิตภัณฑ์ก๊วยซ่าแก่นตะวัน รสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวาน และรสพริกแกงคั่ว มีค่า L^* (ความสว่าง) 46.52, 41.23, 44.10

และ 61.72 ค่า a^* (ความเป็นสีแดง) 5.88, 6.14, 2.52 และ 0.59 ค่า b^* (ความเป็นสีเหลือง) 16.28, 15.97, 14.77 และ 13.36 ตามลำดับ ค่า Water activity ของพริกแกง 4 รสชาติเท่ากับ 0.97 (Table 10)

Table 10. Color values, water activity of gyoza fortified with different types of Thai curry paste

Color values	Red curry paste	Yellow curry paste	Green curry paste	Roasted chilli curry paste
L^*	46.52	41.23	44.10	61.72
a^*	5.88	6.14	2.52	0.59
b^*	16.28	15.97	14.77	13.36
Water activity	0.97	0.97	0.97	0.97

4. องค์ประกอบทางเคมี

ผลิตภัณฑ์ก๊วยซ่าแก่นตะวัน รสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวาน และรสพริกแกงคั่วให้พลังงาน 193.90, 207.03, 205.92 และ 223.38 กิโลแคลอรี โปรตีน 7.10, 7.16, 7.31 และ

8.03 กรัม ไขมัน 8.98, 8.91, 12.00 และ 9.30 กรัม คาร์โบไฮเดรต 21.17, 24.55, 17.17 และ 26.89 กรัม ความชื้น 61.62, 58.01, 62.43 และ 54.66 กรัม เถ้า 1.13, 1.37, 1.05 และ 1.12 กรัม ตามลำดับ (Table 11)

Table 11. Nutritional values of gyoza fortified with different types of Thai curry paste

Nutritional values	Red curry paste	Yellow curry paste	Green curry paste	Roasted chilli curry paste
Total Calories (Kcal)	193.90	207.03	205.92	223.38
Protein (grams)	7.10	7.16	7.31	8.03
Total Fat (grams)	8.98	8.91	12.00	9.30
Total Carbohydrates (grams)	21.17	24.55	17.17	26.89
Moisture (grams)	61.62	58.01	62.43	54.66
Ash (grams)	1.13	1.37	1.05	1.12

5. คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเกี๊ยวซ่า 4 รสชาติ

ผลการตรวจหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1×10^6

Table 12. Microbiological qualities of gyoza fortified with different types of Thai curry paste

Quality value	Red curry paste	Yellow curry paste	Green curry paste	Roasted chilli curry paste
Aerobic Plate Count, CFU/g	65 (EN)	9.2×10^3	1.1×10^5	1.1×10^3

อภิปรายผล

1. ผลการศึกษาการเสริมพริกแกงไทยต่าง ๆ ในการทำเกี๊ยวซ่า 4 รสชาติ

เกี๊ยวซ่ารสพริกแกงเผ็ดและรสพริกแกงกะหรี่ มีคะแนนความชอบสูงสุดปริมาณพริกแกงที่ร้อยละ 15 อาจเป็นเพราะพริกแกงเผ็ดและพริกแกงกะหรี่ มีส่วนประกอบของพริกชี้ฟ้าแห้งและเครื่องเทศสมุนไพรแห้ง เมื่อใส่พริกแกงในปริมาณที่สูงขึ้น อาจทำให้สีของไส้เกี๊ยวซ่ามีลักษณะเป็นสีแดงเข้ม กลิ่นของเครื่องเทศที่มากขึ้นจึงอาจส่งผลต่อคะแนนความชอบ นอกจากนี้เกี๊ยวซ่ารสพริกแกงเขียวหวาน และรสพริกแกงคั่ว มีคะแนนความชอบสูงสุดปริมาณพริกแกงที่ร้อยละ 10 อาจเป็นเพราะพริกแกงเขียวหวานมีส่วนประกอบของพริกชี้ฟ้าเขียวสดและผักชีสด การใส่ในปริมาณที่สูงขึ้นอาจส่งผลให้มีกลิ่นพริกชี้ฟ้าเขียวมากเกินไป และรสพริกแกงคั่วเป็นน้ำพริกแกงที่ไม่มีส่วนผสมของเครื่องเทศสมุนไพรแห้ง มีแต่สมุนไพรเครื่องเทศสดจะมีปริมาณน้ำในตัว น้ำพริกแกงมาก อาจทำให้ตัวไส้เกี๊ยวซ่ามีความชื้นหรือแฉะ³ ส่งผลต่อการให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส

2. ผลการศึกษาปริมาณผงแก้นะวันที่ใช้ทดแทนในแป้งเกี๊ยวซ่า

การทดแทนปริมาณผงแก้นะวันพบว่า ผู้บริโภคจำนวน 50 คน ให้การยอมรับการใช้ผงแก้นะวันทดแทนแป้งสาลีในรสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวาน และรสพริกแกงคั่ว ปริมาณการเติมผงแก้นะวันที่ร้อยละ 2 จากการศึกษาหาปริมาณแก้นะวันที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ของส่วนผสมแป้งเกี๊ยวซ่าทั้งหมดพบว่า การเพิ่มปริมาณผงแก้นะวันมากขึ้นความคล้ายของสีเกี๊ยวซ่ายิ่งมากขึ้น¹⁴ เนื่องจากผงแก้นะวันมีสีน้ำตาลอ่อน ๆ ส่งผลต่อการให้คะแนนความชอบด้านสี แต่ไม่มีผลต่อการกลืนในการเติมผงแก้นะวัน คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสพบว่า ผงแก้นะวันมีการดูดซับน้ำได้ไม่ดี ปริมาณอินนูลินในผงแก้นะวันที่เติมลงไปในระดับที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ความสามารถในการกักน้ำของกลูเตนลดลง ส่งผลต่อโครงสร้างของโดเช่นเดียวกับขนมปัง โดยเนื้อขนมปังจะแน่นขึ้น⁴ ทั้งนี้เนื้อสัมผัสของแป้งเกี๊ยวซ่าอาจมีความกระด้างหากเพิ่มในปริมาณที่สูงขึ้น การนำผงแก้นะวันมาทดแทนแป้งสาลีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งสามารถทดแทนได้ (ตั้งแต่ 2.5, 5.0 และ 10.0 %)¹³

3. คุณสมบัติทางกายภาพด้านสีผลิตภัณฑ์เกี่ยวซ่าแค้นตะวัน

เกี่ยวซ่ารสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวาน และรสพริกแกงคั่ว มีค่าสี L^* a^* b^* แตกต่างกันไป เกี่ยวซ่ารสพริกแกงคั่วมีค่า L^* สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ และรสพริกแกงเขียวหวาน อาจเป็นเพราะส่วนผสมของพริกแกงคั่วมีส่วนประกอบเครื่องแกงปริมาณวัตถุดิบที่ใช้น้อยกว่าพริกแกงรสชาติอื่น ๆ ส่งผลให้มีค่าความสว่างสูงสุด ผงแค้นตะวันมีผลต่อค่าสีเพียงเล็กน้อย⁴ เกี่ยวซ่ารสพริกแกงคั่วมีค่า a^* และค่า b^* ลดลงกว่ารสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ และรสพริกแกงเขียวหวาน ค่า Water activity ทั้ง 4 รสชาติพริกแกงเท่ากับ 0.97 ไม่แตกต่างกัน

4. คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เกี่ยวซ่าแค้นตะวัน

เกี่ยวซ่ารสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวาน และรสพริกแกงคั่ว มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันในปริมาณ 100 กรัม อาจเป็นเพราะเกี่ยวซ่าทั้ง 4 รสชาติเป็นผลิตภัณฑ์การขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ความหนาของแป้งที่รีด ส่วนผสมและปริมาณใส่แต่ละรสชาติไม่เท่ากัน ซึ่งผลิตภัณฑ์เกี่ยวซ่าที่พัฒนาขึ้นมีส่วนผสมของผงแค้นตะวันมีอินนูลินให้สารอาหารคาร์โบไฮเดรตที่มีสมบัติเป็นใยอาหารและสารพรีไบโอติกที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย¹⁵ มีคุณค่าทางโภชนาการของสมุนไพรที่เป็นส่วนประกอบในพริกแกงไทยมีสรรพคุณทางยาช่วยในการลดความดันโลหิต ขับลมในลำไส้ แก้วเย็นศีรษะ¹⁶

5. คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเกี่ยวซ่าแค้นตะวัน 4 รสชาติ

ไม่พบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินเกณฑ์ และมีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 1×10^6 ตามเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 กลุ่มอาหารพร้อมบริโภคทั่วไป¹⁷

สรุปผลการวิจัย

ผลการยอมรับปริมาณพริกแกงไทยในผลิตภัณฑ์เกี่ยวซ่าแค้นตะวัน 4 รสชาติ ได้แก่ รสพริกแกงเผ็ด และรสพริกแกงกะหรี่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดที่ร้อยละ 15 รสพริกแกงเขียวหวานและรสพริกแกงคั่วได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดที่ร้อยละ 10 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบของปริมาณผงแค้นตะวันทดแทนแป้งเกี่ยวซ่าร้อยละ 2 ทั้ง 4 รสชาติ คุณสมบัติทางกายภาพด้านสีผลิตภัณฑ์เกี่ยวซ่าแค้นตะวันรสพริกแกงเผ็ด รสพริกแกงกะหรี่ รสพริกแกงเขียวหวาน และรสพริกแกงคั่ว มีค่าสีที่แตกต่างกัน ค่าปริมาณน้ำอิสระทั้ง 4 รสชาติเท่ากับ 0.97 มีคุณค่าทางโภชนาการประกอบด้วยพลังงาน โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด CFU/กรัม น้อยกว่า 1×10^6 มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาการประกอบและบริการอาหาร สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ให้การสนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารอ้างอิง

1. นันทวัน หัตถมาศ, ภาณุ เขียมต่อม, พรอารีย์ ศิริมกุล. การเพิ่มศักยภาพของพริกกะเหรี่ยงด้วยการพัฒนาพริกแกงเขียวหวานสูตรพริกกะเหรี่ยง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2564;23:80-6.
2. วิฑิตมาพร หนูเนียม. รายงานการวิจัย: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบไก่รสข้าวย่ำเครื่องแกง. [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 ส.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: ข้าวเกรียบไก่รสข้าวย่ำ.pdf.
3. นภาพร ดีสนาม, จารุวรรณ รักษาวงศ์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไก่ยอเสริมแป้งกล้วยและน้ำพริกได้อั่ว. วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม 2564;5:30-5.
4. สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล, มลนพพร สงค์พิมพ์, กฤติยา เชื้อนเพชร, วีระเชษฐ์ จิตตานิชย์. เยลรูชาเล็มอาร์ทีใช้เคเชิงพาณิชย์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2561.
5. จิตรา สิงห์ทอง. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังเพื่อสุขภาพจากแป้งแค้นตะวัน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2562;21:71-83.
6. นิमित วรสุด, สนั่น จอกกลอย. อินนูลิน: สารสำคัญสำหรับสุขภาพในแค้นตะวัน. วารสารแก่นเกษตร 2549;34:85-91.
7. ดุสิต บุหลัน, ณัฐชรัส แพกุล, อภิญา พุกสุขสกุล, สกุลตรา คำชู. ผลของการเสริมแค้นตะวันพิวเร่ต่อลักษณะทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนม.
8. สุนันท์ บุตรศาสตร์, สาริณี เสริมไธสง, รุ่งทิพย์ เจริญมูล. รายงานการวิจัย: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ของม้วนข้าวกลิ้งม้วนผสมแค้นตะวันเสริมสารสีจากพืช. [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 ส.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <http://research.rmu.ac.th/rdi-mis//upload/fullreport/1607007231.pdf>.
9. จิรายุทธ จุมพลหล้า, ธนภพ ไสตรโยม, ชญาภัทร ก่อริโย, น้อมจิตต์ สุธิบุตร. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหม้อแกงแค้นตะวันผงเพื่อสุขภาพ. วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2561;30:83-94.
10. สุภรณ์ พจนมณี. ตำรับอาหาร. ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: วีรณาเพลส; 2555.
11. ปราณี่ อ่านเปรื่อง. หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2557.
12. วันดี ไทยพานิช. วิจัยทางคหกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง; 2555.
13. สถาบันอาหาร. เรื่องบริการตรวจวิเคราะห์. [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 ส.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.nfi.or.th/service-chemical-analysis.php>.
14. ดวงใจ มาลัย, ชุติมณฑน์ ชัยชลิต, สุพรรณษา จันทร์เพ็ญ, สุชานุช ไหมละเอียด. การพัฒนา



- บะหมี่สดโดยการเติมผงแก๊นตะวัน. วารสาร
วิทยาศาสตร์เกษตร 2556;44:269-70.
15. พันธ์กร สุทธิไชย. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนม
เรไรโดยทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งแก๊นตะวัน.
[วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิทยาศาสตรมหา
บัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏมณฑล
พระนครศรีอยุธยา; 2561.
 16. ศิริขวัญ หวันจิ, จิตติมา ดำรงวัฒนะ, เดโช แซ
น้ำแก้ว, อุดมศักดิ์ เดโชชัย, เจียร ชูหนู. จันดี
พริกแกง: แนวทางการพัฒนามาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์น้ำพริกแกงในชุมชน. วารสาร
สังคมศาสตร์และวัฒนธรรม 2563;4:44-63.
 17. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. เกณฑ์คุณภาพ
ทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัส
อาหาร. [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อวันที่
14 ส.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <http://bqsfdmsc.moph.go.th/>.

การศึกษาความคงทนของสีสกัดจากพืชในท้องถิ่น ที่มีต่อผ้าทอเส้นใยตาลกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ภูถ้ำรงค์ จังหวัดเพชรบุรี

Study of the Durability Locally Extracted Plant Dyes that Affects Woven Palm Fabrics of Natural Fibers Phu Tham Rong Community Enterprise Group Phetchaburi Province

เกชา ลาวงษา¹ กฤตพร ชูแสง¹ สุวดี ประดับ¹ สุจาริณี สังข์วรรณะ² วีระศักดิ์ ศรีลารัตน์^{2*}

Kecha Lawongsa¹ Krittaporn chooseng¹ Suwadee Pradub¹ Sujarinee Sangwanna² Veerasak Seelarat^{2*}

¹คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

¹ Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

² Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage

*Corresponding author; E-mail: veerasak@vru.ac.th

Received: 17 October 2023 / Revised: 30 December 2023 / Accepted: 30 December 2023

บทคัดย่อ

สินค้าหัตถกรรมประเภทสิ่งทอของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนภูถ้ำรงค์ ตำบลถ้ำรงค์ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี ยังไม่มีรูปแบบที่แสดงเอกลักษณ์ของชุมชนโดยเฉพาะยังไม่มีการนำเส้นใยตาลซึ่งเป็นพืชเฉพาะท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ การศึกษาความคงทนของการย้อมสีผ้าจากเส้นใยตาลด้วยสีธรรมชาติจากแก่นฝาง คราม และดอกทองกวาว ผลการศึกษาพบว่า ค่าสีของผ้าทอเส้นใยตาลที่ย้อมสีธรรมชาติ ทั้ง 3 ชนิด มีความสว่างมากที่สุด (ค่า L^* 69.57 ± 1.35) มีค่า a^* มากที่สุดเท่ากับ 12.77 ± 2.45 เป็นค่าบวก (สีแดง) โดยมีค่า b^* มากที่สุด เท่ากับ 17.63 ± 1.43 การทดสอบคุณสมบัติของผืนผ้าหลังจากย้อมด้วยสีธรรมชาติ แช่สารช่วยติดสีด้วยสารส้มอยู่ระดับดี เนื่องจากมีความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 4 (ดี) มีความคงทนของสีต่อการขัดถูสภาวะแห้งอยู่ในระดับ 4 (ดี) มีความคงทนของสีต่อการขัดถูสภาวะเปียกอยู่ในระดับ 3 (ปานกลาง) มีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 3 (พอใช้) ซึ่งผลการทดสอบแต่ละคุณสมบัติสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้งานผ้าทอจากเส้นใยตาลย้อมสีธรรมชาติจากแก่นฝางตากแห้ง ครามตากแห้ง และดอกทองกวาวตากแห้งได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปต่อยอดโดยการตัดเย็บเสื้อผ้า เครื่องแต่งกาย และของตกแต่งบ้านจากผ้าตลอดจนเป็นการส่งเสริมธุรกิจครัวเรือนและชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: ผ้าทอเส้นใยตาล การย้อมสีธรรมชาติ ความคงทน

Abstract

Textile handicrafts of the Phu Tham Rong Community Enterprise, Tham Rong Sub-district, Ban Lad District, Phetchaburi province do not yet have a pattern that represents the identity of the community. In particular, palm fiber has not been applied to products. This study compares the dyeing of fabrics from palm fibers with natural dyes from dried sappan heartwood, dried indigo, and dried bastard teak flowers. The study found that the color values of the 3 types of naturally dyed palm fabrics were the brightest (L^* value 69.57 ± 1.35), with the highest a^* value equal to 12.77 ± 2.45 , being positive (red), and the highest b^* value of 17.63 ± 1.43 . Testing the properties of fabrics dyed with dyes from dried sappan heartwood, dried indigo, and dried bastard teak flowers soaked with alum fixing agent was at a good level, which has a color fastness to washing at a level of 4-5 (good to best), a color fastness to rubbing in dry conditions at a level of 4-5 (good to best), a color fastness. The abrasion resistance in wet conditions was at levels 2–3 (moderate to good), and the color fastness to light was at level 3 (fairly good). The test results for each property can be used to develop various types of products that affect the use of woven fabrics made from natural dyes palm fibers from dried sappan heartwood, dried indigo, and dried bastard teak flowers. It can also be further developed by sewing clothes, costumes, and home furnishings from fabrics, as well as being another way to promote household and community businesses.

Keywords: Palm fiber textiles, Natural dyeing, Color fastness

บทนำ

สิ่งทอ (Textiles) และเครื่องนุ่งห่ม (Clothing) มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิต เทียบเท่ากับอาหาร ที่อยู่อาศัยและยารักษาโรค สิ่งทอ หมายถึง เส้นใย (Fiber) เส้นด้าย (Yarn) ผ้า (Fabric) หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเส้นใย เส้นด้าย หรือจากผ้า เส้นใยส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของ ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ มีทั้งสมบัติที่จำเป็นต่อการผลิตสิ่งทอ และสมบัติที่ทำให้ผู้บริโภคพึงพอใจ เส้นใยที่ผลิต โดยกระบวนการธรรมชาติเรียกว่า ใยธรรมชาติ (Natural fibers) ใยที่ผลิตโดยมนุษย์เรียกว่า

ใยประดิษฐ์ (Man-made fibers)¹ เส้นใยตาลเป็น เส้นใยธรรมชาติซึ่งได้จากเมล็ดของลูกตาล ต่างประเทศต้นตาลปลูกกันมากในกัมพูชา อินเดีย พม่า ส่วนในประเทศไทยพบมากแถบภาคตะวันตก เช่น จังหวัดเพชรบุรี สุพรรณบุรี อัญญา นครปฐม และยังมีกระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ทุกภาคของ ประเทศไทย ตาล ชื่อวิทยาศาสตร์: (*Borassus flabellifer* L.) วงศ์: Palmae เป็นไม้ยืนต้น กลมเรียว สูง ใบรูปพัด ก้านใบเป็นกาบหนาแข็งขอบเป็นหนาม แบนคมสีดำ ผลทรงกลมติดเป็นทะลาย เมื่อสุกกันสี ดำหัวสีเหลือง กลิ่นหอม สรรพคุณของตาล งวงตาล

รสหวานเย็น แก้วพิษตานขาง ขั้วพยาริ ทางตาล (ก้านใบ) สด เมื่อนำไปลนไฟ ปิดเอาน้ำ ใช้บรรเทาอาการท้องร่วง ท้องเสีย อมแก้ปากเปื่อย รากตาล รสหวานเย็น แก้วไขร้อน แก้วพิษตานขาง ชูกำลัง ขั้วพยาริ ตาลแขวน (รากที่งอกอยู่เหนือดิน) รสหวานเย็นติดฝาด แก้วไขที่มีพิษร้อน แก้วพิษตานขาง² ส่วนต่าง ๆ ของต้นตาลมีประโยชน์ดังนี้ คือ ลำต้นใช้ทำท่อนระบายน้ำ ใบใช้มุงหลังคา ทำหมวก และของเล่น ทางใบใช้เป็นรั้วบ้าน ผลอ่อนทำอาหาร คาว เช่น แกงเลียง ยำลูกตาล เป็นต้น ผลแก่ได้จาก ลูกตาลสุกจะมีส่วนที่เป็นเนื้อตาลและเส้นใย ผสมผสมกันอยู่ เมื่อนำเนื้อตาลออกมาโดยการขยี้ เนื้อตาลที่ได้มีสีเหลืองส้ม กลิ่นหอมใช้ทำขนมตาล ส่วนที่เหลือเป็นเส้นใยตาล เป็นส่วนที่ติดอยู่กับเมล็ด ของ ลูกตาลเป็นเส้นใยสีน้ำตาลอ่อน มีความเหนียว ค่อนข้างนุ่ม ต้นตาลโตนดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ อยู่คู่กับเมืองเพชรบุรีมายาวนานกว่า 200 ปี อีกทั้ง นับเป็นพืชที่สร้างอาชีพและรายได้ให้กับคนในชุมชน มาตั้งแต่ครั้งอดีต โดยเฉพาะการผลิตน้ำตาลโตนด และน้ำตาลสด ผลิตภัณฑ์แปรรูปหลัก ๆ จากต้นตาล ที่ชาวบ้านนิยมทำจนกลายเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น ของชุมชนต่อมาเกิดการรวมตัวกันของชาวบ้าน ตำบลบ้านหาด กลายเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนวัง ตาลโตนดขึ้น เพื่อช่วยกันผลิตน้ำตาลโตนดและ น้ำตาลสดสำหรับวางจำหน่ายโดยเฉพาะ สำหรับ ผู้สนใจ ที่นี้ยังเป็นสถานที่ศึกษาดูงานเกี่ยวกับ กระบวนการผลิตน้ำตาลโตนดและน้ำตาลสดด้วยวิธี ดั้งเดิมอีกด้วย

ฝาง (*Caesalpinia sappan* L.) เป็นไม้ยืน ต้นขนาดกลาง พบมากในประเทศแถบเอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะประเทศไทย ฝางมี สรรพคุณทางยาและสามารถนำมาใช้เป็นสีย้อมผ้า³

ส่วนใหญ่จะใช้ในรูปน้ำย้อมหรือสารสกัดหยาบทำให้ การสร้างลวดลายบนผลิตภัณฑ์และการในนำไปใช้ ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ค่อนข้างจำกัดถ้าน้ำย้อม ธรรมชาติอยู่ในรูปของผงสีจะสามารถนำไป ประยุกต์ใช้ในงานหลากหลายประเภทมากขึ้น⁴

คราม ชื่อวิทยาศาสตร์: *Indigofera tinctoria* อยู่ในวงศ์ *Leguminosae* เป็นไม้พื้นเมืองในเอเชีย เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ฝักตรงหรือโค้งเล็กน้อย ใบ ประกอบแบบขนนก ดอกช่อ ใช้ทำสีย้อม ต้นคราม มีกลูโคไซด์อินดิแคน เมื่อนำต้นไปแช่น้ำ สารนั้นถูก เปลี่ยนเป็นอินดอกซิล (Indoxy) และเมื่อถูกอากาศ จะถูกเปลี่ยนเป็นอินดิโก-บลู (Indigo-blue) ให้สี คราม ใช้เป็นยารักษาอาการทางประสาท บรรเทา อาการปวดแผลที่เกิดในบริเวณเยื่ออ่อน ผ้าย้อม คราม (Indigo Dyed Fabrics) เป็นผลิตภัณฑ์ผ้า พื้นเมืองย้อมด้วยสีครามธรรมชาติผ่านวิถีภูมิปัญญา ชาวบ้านที่มีนำต้นคราม (*Indigofera tinctoria* L.) มาทำการสกัดสีและย้อมเส้นใยฝ้ายด้วยการหมัก เนื้อครามจนได้ผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมครามที่มีช่วงเฉดสี ฟ้ำถึงสีน้ำเงินเข้ม (Indigo blue) ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ เฉพาะของครามสีครามจัดเป็นสีย้อมผ้าประเภทสั้วต (Vat dyes) เป็นสีที่มีความคงทนและติดสีเส้นใย เซลลูโลสโดยโมเลกุลสีอยู่ในรูปไม่ละลายน้ำและ ถูกขังภายในเส้นใยภายหลังย้อม⁵ สำหรับวัตถุดิบ ธรรมชาติที่นำมาใช้ในการผลิตผ้าย้อมครามส่วน ใหญ่นิยมใช้เส้นใยฝ้ายหรืออาจใช้เส้นใยไหมหรือใย กัญชงบ้างเล็กน้อยการผลิตผ้าย้อมครามในอดีตนั้น เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการในการดำเนิน ชีวิตแต่ในปัจจุบันได้มีภูมิปัญญาในการผลิตผ้าย้อม ครามสร้างยอดจำหน่ายสูงมากที่สุด โดยมีราคา จำหน่ายที่สูงใกล้เคียงกับผ้าไหมและเป็นที่ต้องการ

จำนวนมากในตลาดผ้าผลิตภัณฑ์ธรรมชาติในประเทศญี่ปุ่นฝรั่งเศสและอิตาลี⁶

ทองกวาว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Butea monosperma* (Lam.) Taub. อยู่ในวงศ์ Fabaceae ทองกวาวมีชื่ออื่น ๆ อีกได้แก่ กวาว ก้าว จอมทอง จำ จาน ทองต้น ทองธรรมชาติ และทองพรมชาติ เป็นต้น ทองกวาวเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งมีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียใต้ จากประเทศไทย ลาว กัมพูชา เวียดนาม มาเลเซีย ศรีลังกา เนปาล บังกลาเทศ ปากีสถาน อินเดีย และในแถบทาง ภาคตะวันตกของอินโดนีเซีย โดยจัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ดอกทองกวาวนั้นเป็นช่อคล้ายกับดอกทองหลวง ดอก มีสีแดงส้มหรือแสด มีความยาวประมาณ 6-15 เซนติเมตร มีดอกย่อยเกาะกันเป็นกลุ่ม เมื่อดอกบานจะมีกลีบ 5 กลีบ และจะออกดอกมากในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปี ดอกให้สีส้มแดง อีกทั้งดอกทองกวาวยังมีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาหลายอย่าง เช่น ดอกทองกวาว ใช้ต้มดื่มช่วยถอนพิษไข้ได้ ดอกทองกวาวใช้หยอดตาแก้อาการตาแดง เจ็บตา ปวดตา ระคายเคืองตา ตามัว ตาแฉะ และตาฟาง⁷ นอกจากนี้ดอกทองกวาวยังใช้ในการรักษาโรคตับ โรคเบาหวาน โรคมะเร็งและโรคท้องเสียได้อีกด้วย⁸ จากลักษณะของดอกทองกวาวที่มีสีแดงส้มในประเทศอินเดียจึงนิยมนำดอกทองกวาวมาตากแห้งแล้วบด เพื่อใช้เป็น แหล่งให้สีในงานเทศกาลแห่งสี⁹

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนภูถ้ำรงค์ ตำบลถ้ำรงค์ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี จัดได้ว่าเป็นแหล่งท่องเที่ยวประจำจังหวัดที่สำคัญเป็นที่นิยมของนักท่องเที่ยว จากการลงพื้นที่เพื่อรวบรวมข้อมูลงานวิจัยพบว่า สีนํ้าตาลอินทรีย์ส่วนใหญ่ยังไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน

ที่แสดงเอกลักษณ์ของชุมชนสินค้ำ ส่วนใหญ่จะนำมาจากแหล่งอื่นในเขตภาคต่าง ๆ มาจำหน่ายร่วมกับสินค้ำของชุมชน สีนํ้าตาลอินทรีย์จะนิยมนํ้าตาลอินทรีย์และนํ้าตาลสด ซึ่งเป็นเชิงอนุรักษ์ และมีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในวงการแต่ยังมีกลุ่มคนอีกเป็นจำนวนมากที่ยังไม่มีโอกาสสนาเส้นใยตาลมาประยุกต์ใช้ในวิถีชีวิตทั่วไป คณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงการอนุรักษ์ความเป็นไทยและตระหนักในคุณค่าวัสดุธรรมชาติที่ก่อให้เกิดประโยชน์การใช้งานอย่างสูงสุดด้วยการพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอประเภทของที่ระลึกแบบร่วมสมัยโดยการเชื่อมโยงความงามของงานศิลปหัตถกรรมในอดีตมาสู่งานผลิตภัณฑ์สิ่งทอร่วมสมัยในปัจจุบันเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงสร้างสรรค์หัตถกรรมไทยให้คงอยู่สืบไป อีกทั้งเป็นการสร้างรายได้ให้กับชุมชนเพื่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจ และการอนุรักษ์ควบคู่กันไป โดยเลือกใช้สีที่สกัดจากพืช 3 ชนิด มาย้อมเพื่อศึกษาความคงทนของสีที่มีต่อผ้าทอเส้นใยตาล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความคงทนของสีสกัดจากพืชในท้องถิ่นที่ใช้ย้อมผ้าทอเส้นใยตาลกรณี: ย้อมจากแก่นฝาง ดอกทองกวาว และสีจากคราม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการย้อมสีเส้นใยตาลที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของสารช่วยติด ได้แก่ สีจากแก่นฝาง สีจากต้นครามและสีจากดอกทองกวาว ที่เหมาะสมวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยเปรียบเทียบการติดสีและการให้ค่าความสว่างของสีบนเนื้อผ้า การเตรียมสีย้อมจากแก่นฝาง สีย้อมจากดอกทองกวาว สีย้อมจากคราม

โดยทดสอบกับผ้าทอเส้นใยตาล จากนั้นนำไปย้อมในขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมผ้าทอจากเส้นใยตาลที่นำมาใช้ในงานทดลองเป็นผ้าทอเส้นใยตาลสีขาวขนาด 50 x 50 เซนติเมตร ก่อนนำไปใช้ในการย้อมผ้าให้ทำความสะอาดด้วยการซักด้วยน้ำยาซักผ้าแล้วนำไปต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภท ไขมัน น้ำมัน แวก ต่าง ๆ ให้หลุดออกไป¹⁰

3. การเตรียมน้ำย้อมแก่นฝางจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนภูถ้ำรงค์ ตำบลถ้ำรงค์ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี มาล้างให้สะอาด แล้วนำไปสกัดด้วยน้ำร้อน ในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อแก่นฝางแห้ง 80:20 กรัม อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต้มเคี่ยวเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง¹¹ จากนั้นนำไปย้อมผ้าในขั้นตอนต่อไป

4. การเตรียมน้ำย้อมจากดอกทองกวาวของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนภูถ้ำรงค์ ตำบลถ้ำรงค์ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี มาล้างให้สะอาด แล้วนำไปสกัดด้วยน้ำร้อน ในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อดอกทองกวาวตากแห้ง 80:20 กรัมต่อกรัม อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต้มเคี่ยวเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง

5. การเตรียมน้ำย้อมจากครามผงตากแห้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนภูถ้ำรงค์ ตำบลถ้ำรงค์ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี นำผงครามตากแห้งไปสกัดด้วยความร้อน ในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อครามผงตากแห้ง 80:20 กรัมต่อกรัม เติมน้ำขึ้นเฝ้า 100 กรัม และน้ำส้มสายชู 100 กรัม อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต้มเคี่ยวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง

6. การย้อมสีผ้าจากเส้นใยตาลนำสีย้อมแต่ละชนิดที่ผ่านการแยกกากออกแล้ว (ข้อ 3-5) แต่ละชนิดต้มให้เดือด ใส่เกลือแกง 1 ช้อนโต๊ะ และคนให้เกลือแกงละลายจนหมด จากนั้นนำผ้าเส้นใยตาลที่เตรียมไว้ (ข้อ 2) แล้วใส่ลงในแต่ละหม้อต้มจำนวน 3 ชิ้น และควบคุมอุณหภูมิในการย้อมที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้นำผ้าเส้นใยตาลออกจากหม้อต้ม โดยผ้าเส้นใยตาลที่นำออกจากหม้อต้มแล้วนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดล้างจนกว่าสีไม่หลุดให้แช่ด้วยน้ำสะอาดที่มีสารส้มละลายอยู่ในอัตราส่วนน้ำ 5 ลิตร สารส้ม 20 กรัม เป็นเวลา 15 นาที และตากให้แห้งสนิทแล้วรีดให้เรียบ¹²

7. การชักล้างสีส่วนเกินเมื่อนำผ้าใยตาลที่ย้อมและแช่สารช่วยติดสีแล้วให้นำผ้าใยตาลขึ้นมาซักด้วยน้ำเปล่าหลาย ๆ ครั้ง จนน้ำใส หลังจากนั้นให้นำน้ำยาล้างจาน 10 ซีซี ต่อน้ำสะอาด 10 ลิตร ผสมให้เข้ากัน นำผ้าใยตาลที่ย้อมและล้างสีย้อมแล้วชักล้างสีส่วนเกิน เมื่อซักแล้วให้นำขึ้นล้างทำความสะอาดจนหมดบิดให้พอหมาด นำขึ้นตากลมหรือในร่มให้แห้ง ไม่ให้ตากที่โดนแสงแดดโดยตรง

8. การวัดค่าสีของผ้าทอเส้นใยตาลก่อนและหลังการย้อมด้วยเครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Minolta รุ่น CR-10 ซึ่งใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L^* a^* และ b^* โดยที่ L^* หมายถึง ค่าความสว่าง (lightness) ค่าเข้าใกล้ 100 หมายถึง สีขาว (สีขาว) ค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง สีเข้ม (สีดำ) ที่สุด a^* ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างมีสีแดง แต่ถ้ามีค่าเป็นลบ หมายถึง ตัวอย่างมีสีเขียว และ b^* ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างมีสีเหลือง แต่ถ้ามีค่าเป็นลบ หมายถึง ตัวอย่างมีสีน้ำเงิน จากนั้นนำค่าสีของผ้าทอเส้นใยตาลที่ได้จากการย้อมในแต่ละหน่วยทดลองนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแตกต่าง (analysis

of variance) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's multiple rang test

9. การศึกษาความคงทนของสีต่อการซักล้าง (Color fastness to washing) โดยทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C06: 2010¹³

10. ความคงทนของสีต่อการขัดถู (Color fastness to rubbing) มาตรฐาน ISO 105-X12: 2001¹³

11. ความคงทนของสีต่อแสง (Color fastness to light) มาตรฐานการทดสอบ ISO 105-B02: 1994¹³

12. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในการทำการทดลองครั้งถัดไป

ผลการวิจัย

1. การสกัดสีย้อมจากแก่นฝางแห้ง ดอกทองกวาวแห้ง และครามแห้ง โดยผลของการสกัดสีของน้ำย้อมจากต้มในช่วงเวลา 60 นาที และมีระดับความค่าสีของน้ำย้อมด้วยเครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Minolta รุ่น CR-10 ซึ่งใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L^* a^* และ b^* แสดงผลใน Table 1.

Table 1 Measuring the color value of heat-extracted dyed palm fiber fabric

Component	Heat-extracted dyed fabric palm		
	Sappan wood	Dried Indigo	Bastard teak
1. Heat-extracted dyed fabric palm			
2. L^*	69.57±1.35	28.23±2.36	56.13±3.15
3. a^*	12.77±2.45	- 3.25±2.46	11.82±3.26
4. b^*	17.63±1.43	-14.98±1.25	14.65±3.22

การวัดค่าสีของผ้าทอเส้นใยตาลที่ย้อมด้วยแก่นฝาง ดอกทองกวาว และครามด้วยเครื่องวัดสีตามระบบ CIELAB โดยรายงานผลเป็นค่า L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าความเป็นสีเขียว-แดง) และ

b^* (ค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง) พบว่า สีย้อมจากแก่นฝางให้เฉดสีชมพูอ่อน สีจากครามให้สีน้ำเงิน สีจากดอกทองกวาวให้สีเหลือง แต่เมื่อใช้สารส้มเป็นสารช่วยย้อม โดยมีค่า L^* มากที่สุด เท่ากับ

69.57±1.35 ได้จากการย้อมสีจากแก่นฝาง รองลงมาคือสีย้อมจากดอกทองกวาว เท่ากับ 56.13±3.15 ต่ำที่สุดได้จากการย้อมสีคราม เท่ากับ 28.23±2.36 และมีค่า a^* มากที่สุด เท่ากับ 12.77±2.45 ได้จากย้อมสีจากแก่นฝาง รองลงมาคือสีย้อมจากดอกทองกวาว เท่ากับ 11.82±3.26 ต่ำที่สุดได้จากการย้อมสีคราม เท่ากับ -3.25±2.46

และมีค่า b^* มากที่สุด เท่ากับ 17.63±1.43 ได้จากการย้อมสีจากแก่นฝาง รองลงมาคือสีย้อมจากดอกทองกวาว เท่ากับ 14.65±3.22 ต่ำที่สุดได้จากการย้อมสีคราม เท่ากับ -14.98±1.25

2. ความคงทนของสีต่อการซักล้าง (Color fastness to washing) มาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C06: 2010

Table 2. Levels of color fastness to washing

Dyed palm fiber cloth	Levels of color fastness (grade)
Sappan wood	4
Dried Indigo	4
Bastard teak	4

Remark: Level 5 = Excellent, Level 4 = Good, Level 3 = Fair, Level 2 = Poor and Level 1= No opinion

จาก Table 2 แสดงความคงทนของสีต่อการซักล้างพบว่า ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของเส้นใยตาลที่ย้อมด้วย แก่นฝางตากแห้ง ครามตากแห้ง ดอกทองกวาวตากแห้ง อยู่ในระดับ 4

อยู่ในระดับดีและทั้ง 3 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ≥ 0.05

3. ความคงทนของสีต่อการขัดถู (Color fastness to rubbing) มาตรฐาน ISO 105-X12: 2001

Table 3. Shows color fastness to abrasion.

Dyed palm fiber cloth	Color staining values	
	(Dry) 5 levels	(Wet) 5 levels
Sappan wood	4	3
Dried Indigo	4	3
Bastard Teak	4	3

Remark: Level 5 = Excellent, Level 4 = Good, Level 3 = Fair, Level 2 = Poor and Level 1= No opinion

จาก Table 3 แสดงความคงทนของสีต่อการขัดถูพบว่าความคงทนต่อการขัดถูสภาวะแห้งของสีของเส้นใยตาลที่ย้อมด้วยแก่นฝาง ครามตากแห้ง ดอกทองกวาวตากแห้ง

ดอกทองกวาว อยู่ในระดับ 4 ดี ความคงทนต่อการขัดถูสภาวะเปียกของสีของเส้นใยตาลที่ย้อมด้วยแก่นฝางตากแห้ง ครามตากแห้ง ดอกทองกวาวตาก

แห้ง อยู่ในระดับ 3 ปานกลาง และทั้ง 3 ตัวอย่าง
ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ≥ 0.05

4. ความคงทนของสีต่อแสง (Color fastness
to light) มาตรฐานการทดสอบ ISO 105-B02:1994

Table 4. Levels of color fastness to light

Dyed plam fiber cloth	Levels of color fastness (grade)
Sappan wood	3
Dried Indigo	3
Bastard Teak	3

Remark: Level 8 = Excellent, Level 7 = Great, Level 6 = Very good, Level 5 = Good, Level 4= Fairly good, Level 3 = Fair, Level 2= Poor and Level 1= No opinion

จาก Table 4 แสดงความคงทนของสีต่อแสงพบว่า ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าทอเส้นใยตาลที่ย้อมแก่นฝาง ครามตากแห้ง ดอกทองกวาว อยู่ในระดับ 3 และอยู่ในระดับพอใช้ทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ≥ 0.05

อภิปรายผล

ผลของการย้อมสีผ้าเส้นใยตาลจาก แก่นฝาง คราม ดอกทองกวาว มีขั้นตอนคือการเตรียมผ้าทอเส้นใยตาลก่อนการย้อมสี การทำความสะอาดเพื่อให้สะดวกต่อการย้อมสี ด้วยการซักด้วยน้ำยาซักผ้าแล้วนำไปต้มให้เดือดที่ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สำหรับอัตราส่วนในการสกัดสีย้อมสีธรรมชาติต่อผืนผ้าเส้นใยตาล ในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อแก่นฝาง คราม ดอกทองกวาว 80:20 กรัม อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต้มเคี่ยวเป็นเวลา 60 นาที และนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง การย้อมสีผ้าจากเส้นใยตาลใส่เกลือแกง 1 ช้อนโต๊ะ อุณหภูมิในการย้อมที่

95 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง แสงสารช่วยย้อมด้วยสารส้มละลายอยู่ในอัตราส่วนน้ำ 5 ลิตร สารส้ม 20 กรัม เวลา 15 นาที สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการศึกษาเพิ่มมูลค่าบัวหลวงปทุมด้วยภูมิปัญญาผ้ามัดย้อมสีธรรมชาติ สกัดจากใบบัวแก่ ฝักบัวแห้ง และกลีบดอกบัว (สัดส่วน 1:5) ที่ผ่านการย้อมแบบย้อมร้อนด้วยสีสกัดจากใบบัว สีฝักและกลีบดอกบัวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และสำหรับการใช้เกลือแกง (salts) เป็นสารช่วยย้อม ซึ่งเกลือแกงจะช่วยเปิดเส้นใยให้เส้นใยบานออกและให้สีซึมสู่ใยผ้าติดทนได้ดีและช่วยให้สีสม่ำเสมอ รวมทั้งช่วยจับสีให้มาเกาะบนผ้าทำให้ย้อมได้สีเข้มขึ้นและดึงเนื้อสีออกจากน้ำย้อมให้มาติดบนเส้นใยผ้า¹² เมื่อพิจารณาจากผลการวัดค่าสี พบว่า สีย้อมจากแก่นฝาง ดอกทองกวาว และครามให้สีที่มีความสว่าง (69.57 ± 1.35 , 55.23 ± 2.36 , 56.13 ± 3.15) ตามลำดับ และเพื่อให้เกิดความหลากหลายของเฉดสี ในการย้อมได้ใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมวัตถุดิบแต่ละชนิดทั้งในอุณหภูมิ เวลา ชนิดของมอดแทนท์

ความเข้มข้นของมอดเดนโทในการย้อมสีได้ใช้น้ำย้อมก่อน และ สีย้อมธรรมชาติที่สกัดจากฝางเป็นการผลิตไททาเนียมไดออกไซด์ที่ไวแสงตามสีย้อมแก่นฝางเป็นพืชที่จัดอยู่ในกลุ่มแอนโทไซยานิน มีกลุ่ม Phenolic compounds และกลุ่ม Polyphenol ความแตกต่างกันของเจดสีของพืชในกลุ่มแอนโทไซยานิน ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งจากการเกิด Resonance ประจุบวกของไฮดรอกซิลไอออนพลาไพล์โดยพบว่า $\text{pH} > 7$ ให้เจดสีน้ำเงินเข้ม $\text{pH} = 7$ ให้เจดสีม่วง และ $\text{pH} < 7$ ให้เจดสีส้มแดง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ¹⁴ ที่ทำการศึกษากการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานิน เพื่อใช้สำหรับย้อมเนื้อเยื่อพืชพบว่า สีย้อมแก่นฝางสกัดด้วยน้ำกลั่นเติมคอปเปอร์ซัลเฟต pH 2.98 ซึ่งอยู่ในสภาวะกรดแก่ให้เจดสีแดงเป็นเม็ดสีหลักที่มีอยู่ในแก่นฝางที่เหมาะสมของสีย้อมที่สกัดจากแก่นฝางโดยใช้สีย้อมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการศึกษาคุณสมบัติของผ้าเส้นใยตาลที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ 13 ผืนผ้าที่ย้อมด้วยสีจากแก่นฝางตากแห้ง ความตากแห้ง และดอกทองกวาวตากแห้ง สารช่วยติดสีสารส้ม อยู่ระดับแยะ ซึ่งมีความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ ดีถึงดีที่ สุด มีความคงทนของสีต่อการขัดถูสภาวะแห้งอยู่ในระดับ ดีถึงดีที่ สุด มีความคงทนของสีต่อการขัดถูสภาวะเปียกอยู่ในระดับ ปานกลางถึงดี มีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ ดีพอใช้ ในช่วง 2-4 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (ระดับ 1 มีความคงทนต่ำสุดถึงระดับ 8 มีความคงทน สูงสุด) การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105-C10: 2006(E) TEST NO. A(1) ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 30 นาที มีค่าระดับประมาณ 2-5 และพบว่า สีย้อมจากแก่นฝางจะไม่มีความคงทนต่อการซักมากกว่า

ใบและดอก การศึกษาความคงทนของสีต่อการขัดถูพบมีการตกสีในผ้าขาวสภาพเปียกมากกว่าสภาพแห้ง ความแตกต่างกัน พืชแต่ละชนิดเมื่อนำมาย้อมเส้นใยธรรมชาติมีการติดสีและคงทนต่อแสงหรือการขัดถูไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในของพืชและเส้นใยที่นำมาใช้ย้อม การใช้สารช่วยย้อมและสารช่วยให้สีติดมาช่วยในการทำให้เส้นใยสามารถดูดซับสีให้เกาะเส้นใยได้แน่นขึ้นทำให้ความคงทนต่อแสงและการขัดถูเพิ่มขึ้น บางชนิดยังช่วยเปลี่ยนเจดสีให้เข้มจาง หรือสดใส สว่างขึ้นได้อีกด้วย¹⁵ โดยก่อนหน้านี้¹⁶ ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดน้ำย้อมสีจากใบมะยมชนิดพบสารพฤกษเคมี 4 กลุ่ม ได้แก่ ฟีนอลิก แทนนิน ไตรเทอร์พีน และแอนทราควิโนน ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีของสีย้อมจากธรรมชาติมักเป็นสารพวกฟลาโวนอยด์ แทนนิน เทอร์พีนอยด์ แพนโทควิโนน แอนทราควิโนน และอัลคาลอยด์¹⁷ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาด้านความปลอดภัย พบว่า สารสกัดสีย้อมจากใบมะยมชนิดไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและการกัดกร่อนของผิวหนังในกระต่ายตามหลักเกณฑ์ ของ GHS ที่ระดับ Unclassified ซึ่งผลการทดสอบแต่ละคุณสมบัติสามารถนำเป็นข้อมูลในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้งานผ้าทอจากเส้นใยตาลย้อมสีธรรมชาติจากแก่นฝางคราม และดอกทองกวาวได้

สรุป

การย้อมผ้าทอเส้นใยตาลด้วยสีธรรมชาติจากแก่นฝางตากแห้ง สีจากครามตากแห้ง สีจากดอกทองกวาวตากแห้ง ที่ดีที่สุด พบว่า ค่าสีของผ้าเส้นใยตาลที่ย้อมสีจากแก่นฝางตากแห้ง มีความสว่างมากที่สุด (ค่า L^* 69.57 ± 1.35) มีค่า a^* มากที่สุด

เท่ากับ 12.77 ± 2.45 เป็นค่าบวก (สีแดง) โดยมีค่า b^* มากที่สุด เท่ากับ 17.63 ± 1.43 ซึ่งมีความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับดีถึงดีที่ที่สุด มีความคงทนของสีต่อการขัดถูสภาวะแห้งอยู่ในระดับดีถึงดีที่ที่สุด มีความคงทนของสีต่อการขัดถูสภาวะเปียกอยู่ในระดับปานกลางถึงดี มีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับดีพอใช้ ซึ่งผลการทดสอบแต่ละคุณสมบัติสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้งานผ้าทอจากเส้นใยตาลย้อมสีธรรมชาติจากแก่นฝางตากแห้งได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปต่อยอดโดยการตัดเย็บเสื้อผ้า เครื่องแต่งกาย และของตกแต่งบ้านจากผ้าตลอดจนเป็นการส่งเสริมธุรกิจครัวเรือนและชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

ควรมีการนำเอาเทคโนโลยีด้านสิ่งทอเข้ามาช่วยในการตกแต่งสำเร็จในเส้นใยจากตาลเพื่อให้เส้นใยมีคุณสมบัติที่เป็นไปตามมาตรฐานสากล

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ศึกษาการย้อมสีพืชชนิดอื่น ๆ ในท้องถิ่นที่สามารถให้สีได้ด้วยภูมิปัญญา

นำผ้าย้อมสีธรรมชาติที่ได้จากงานวิจัยไปออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายของตกแต่งบ้านและต่อยอดเชิงธุรกิจต่อไป

ควรมีการศึกษการใช้สารช่วยติดสีที่หลากหลายในการย้อมผ้าเพื่อให้เห็นคุณสมบัติที่แตกต่าง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ประกอบการ นักศึกษา สาขาวิชาออกแบบแฟชั่นผ้าและเครื่องแต่งกาย

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และนักศึกษาหลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี เป็นผู้ช่วยนักวิจัย และคณะวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนทุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. ขจีจรัส ภิรมย์ธรรมศิริ. เอกสารประกอบการสอนวิชาหลักคหกรรมศาสตร์เรื่องศาสตร์ทางด้านสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน; 2550.
2. วุฒิ วุฒิธรรมเวช. เกสัชกรรมไทยรวมสมุนไพรฉบับปรับปรุงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; 2540.
3. Cardon D. Natural dyes: sources, tradition, technology and science. London: Archetype Publication 2007.
4. Kirby J. Red lake pigments: sources and characterisation in Fatto d'archimia - los pigmentos artificiales en las tecnicas pictoricas, del Egido M, Kroustallis S (Eds.), Ministerio de Educacion, Culturay Deporte, Madrid 2012.
5. Khatri M, Ahmed F, Shaikh I, Phan N, Khan Q, Khatri Z, Lee H, Kim I S. Dyeing and characterization of regenerated cellulose nanofibers with vat dyes. Carbohydr Polym 2017;174:443-9.

6. Saithong A, Wanruengrong T, Sunaprom U. The development of indigo - dyed cloths' pattern for the new generation people. Sakon Nakhon Rajabhat University Journal 2015;7:11-20.
7. กรมวิชาการเกษตร. พรรณไม้ในกรมวิชาการเกษตร เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย 2552.
8. Rana F, Avijit M. Review Butea monosperma. IJRPC 2012;2:1035-39.
9. Somani R, Kasture S, Singhai AK. Antidiabetic potential of Butea monosperma in rats. Fitoterapia 2006;77:86-90.
10. วีระศักดิ์ ศรีลาวัฒน์, สุจาริณี สังข์วรรณะ, ภัทธพร พุ่มพันธ์, ธิดิรัตน์ วงษ์กาฬสินธุ์, ณรัช พรนิธิบุญ, ธนัง ชาญกิจชัยโย. การพิมพ์สีธรรมชาติจากใบเพกาด้วยเทคนิคการถ่ายโอนสีสู่ผ้าฝ้าย. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ 2565;17:45-55.
11. สุพัตรา รักษาพรต, กวินภพ เย็นแย้ม, สุธาทิพย์ กลั่นแดง, วรยุทธ ขาปฏิ, ปานศิริ ธรรมเกษตร, สุพัตรา ออองงาม, สุนิษา สุวรรณเจริญ. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมสีผมโดยใช้สารสกัดธรรมชาติจาก ใบเทียนกิ่ง แก่นฝาง ดอกอัญชันเปลือกมังคุด และกะหล่ำปลีแดง. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2564;13:790-803.
12. วีระศักดิ์ ศรีลาวัฒน์, ณัฐสิมาโทชนธ์. การเพิ่มมูลค่าบัวหลวงปทุมด้วยภูมิปัญญาผ้าฝ้ายมัดย้อมสีธรรมชาติ. วารสารการพัฒนาศูนยและคุณภาพชีวิต 2564;9:205-12.
13. รัตนพล มงคลรัตนาลิทธิ. วิธีการทดสอบความคงทนของสีบนวัสดุสิ่งทอตามมาตรฐาน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2549.
14. Kongplee L, Pangsri P. The development of natural dry from plants in anthocyanin group for staining plant tissue. JSSE 2022; 5:1-11.
15. ประภากร สุคนธมณี. สืบค้นจากพันธุ์พฤษา. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร 2560;37:183-202.
16. พัทธวัฒน์ สีขาว, หนึ่งฤทัย เนื้อไม้หอม, นฤมล พรหมลา, ครรชิต ณ วิเชียร, อรุณญา จุติวิบูลย์สุข. การศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้น ความเป็นพิษเฉียบพลันต่อการระคายเคืองและการกัดกร่อนของผิวหนังในกระต่ายจากสารสกัดน้ำย้อมสีใบมะขงชิด. PSRU Journal of Science and Technology 2022;7:117-28.
17. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. การย้อมสิ่งทอด้วยสีธรรมชาติ. [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 20 มี.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก <http://siweb1.dss.go.th/repack/fulltext/IR%2041.pdf>.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วแดงโปรตีนสูง

Product Development of High-Protein Red Bean Milk

สุรีย์พร กังสนันท์* รุจิรา ดำเอี่ยม ลักขณา ศรีรุ่งเรือง และ สุภาพร ศรีรุ่งเรือง

Sureeporn Kangsanant* Ruchira Dam-eam, Lakkhana Srirungreang and Suphapron Srirungreang

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: kangsanant.s@gmail.com

Received: 25 October 2023 /Revised: 30 December 2023 /Accepted: 31 December 2023

บทคัดย่อ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วแดงโปรตีนสูงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถั่วแดงและน้ำ ปริมาณสารให้ความหวานมอลทิทอล และองค์ประกอบทางเคมี การศึกษาอัตราส่วนของถั่วแดงต่อน้ำที่ระดับ 1:3 1:5 1:7 และ 1:9 ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของน้ำทำให้นมถั่วแดงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและ ค่าความหนืดลดลง ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาท สัมผัสลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น โดยมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติและความชอบโดยรวม อัตราส่วนของถั่วแดงต่อน้ำเท่ากับ 1:5 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุด การศึกษาปริมาณมอลทิทอลที่ระดับร้อยละ 5 10 15 และ 20 พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณมอลทิทอลในช่วงร้อยละ 5-15 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับ ทางประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเป็นร้อยละ 20 โดยผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของนมถั่วแดงที่มีปริมาณมอลทิทอลร้อยละ 15 สูงที่สุด การศึกษาการเติมโปรตีนจากถั่วลันเตาร้อยละ 10 พบว่านมถั่วแดง 100 กรัม มีปริมาณโปรตีน 10.50 กรัม ไขมัน 0.01 กรัม คาร์โบไฮเดรต 0.12 กรัม ความชื้น 77.50 กรัม เถ้า 0.34 กรัม โยอาหารทั้งหมด 11.65 กรัม และ ให้พลังงาน 88.67 กิโลแคลอรี นมถั่วแดงปริมาตร 350 มิลลิลิตร มีโปรตีนเท่ากับ 36.7 กรัม ซึ่งนมโปรตีนสูงที่มีวาง จำหน่ายในท้องตลาดพบว่ามีปริมาณโปรตีนในช่วง 28-32 กรัมโปรตีนต่อ 350 มิลลิลิตร (ขนาดบรรจุภัณฑ์ที่มี จำหน่ายในท้องตลาด)

คำสำคัญ: ถั่วแดง นมโปรตีนสูง ถั่วลันเตา มอลทิทอล

Abstract

The development of high-protein red bean milk products is aimed at studying the optimal ratio of red beans and water chemical composition and nutritional value of red bean milk. The study of the ratio of red bean to water at levels of 1:3, 1:5, 1:7 and 1:9 showed that the increase in the proportion of water resulted in a decrease in the total solids and viscosity of red bean milk. Sensory acceptance test results showed that consumers rated sensory acceptance lower as water ratio increased. It affects the consumer acceptant test, especially taste and overall preference. The ratio of red beans to water of 1:5 received the highest acceptance rating. A study of maltitol content at levels 5, 10, 15, and 20 showed an increase in maltitol content in the range of 5-15 percent. ($p < 0.05$) and tended to decrease when increasing the volume to 20% . Consumers gave red bean milk with a 15% maltitol content positive ratings in all sensory parameters. A study on the addition of 10% pea protein found that 100 grams of red bean milk contained 10.50 grams of protein, 0.01 grams of fat, 0.12 grams of carbohydrates, 77.50 grams of moisture, 0.34 grams of ash, 11.65 grams of total fiber, and 88.67 kcal. Red bean milk had a protein level of 36.7 grams per 350 ml, whereas commercially available high-protein milk has a protein content that ranges from 28 to 32 grams per 350 ml (Packaging sizes available in the market).

Keywords: Red bean, High protein milk, Peas, Maltitol

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ได้หันมาสนใจในการดูแลสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะการเลือกบริโภคเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น น้ำสมุนไพร น้ำผลไม้พร้อมดื่ม หรือเครื่องดื่มที่ทำมาจากธัญชาติ เป็นต้น เครื่องดื่มที่ทำมาจากธัญชาติเป็นเครื่องดื่มที่นำเอาเมล็ดธัญชาติมาบดโดยตรงหรือสกัดโปรตีนจากเมล็ดธัญชาติแล้วนำมาใช้ในการผลิตเครื่องดื่ม ได้แก่ นมถั่วเหลือง เครื่องดื่มจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ เครื่องดื่มน้ำนมจากข้าวโพด เป็นต้น^{1,2} นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องดื่มจากธัญชาติได้มีการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำตาลทรายลง อีกทั้งเป็นการลดพลังงานที่ได้รับจากน้ำตาลทราย ทำให้เป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

มากขึ้น เช่น การใช้ซูคราโลส (Sucralose) อิริทริทอล (Erythritol) มอลทิทอล (Maltitol) เป็นต้น³ และแนวโน้มในปัจจุบันที่ผู้คนส่วนใหญ่หันมาออกกำลังกายและกระแสดื่มเครื่องดื่มโปรตีนสูงจึงเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้ที่รักสุขภาพและชื่นชอบการออกกำลังกาย ทำให้กลุ่มคนเหล่านี้ดื่มเครื่องดื่มที่มีปริมาณโปรตีนสูง เพื่อเสริมสร้างกล้ามเนื้อ ทำให้มีรูปร่างสมส่วนมากขึ้น ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนที่ร่างกายต้องการใน 1 วันประมาณ 0.8-1 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม หรือผู้ที่ต้องการเสริมสร้างกล้ามเนื้อ นักกีฬา 1.2-1.7 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม⁴ เช่น ผู้ที่มีน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัมต้องการปริมาณโปรตีนวันละประมาณ 50 กรัมต่อวัน เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่จะกล่าวอ้างข้อมูลทางโภชนาการว่ามีโปรตีนสูง

จะต้องมีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 20 ของสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai Recommended Daily Intakes: Thai RDI)⁵ จากปริมาณความต้องการโปรตีนของร่างกายดังกล่าว ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหารอาจไม่เพียงพอในแต่ละวัน เนื่องจากปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่มีเวลาในการเตรียมอาหารน้อยลง รับประทานอาหารนอกบ้านมากขึ้น จึงทำให้การบริโภคอาหารในแต่ละมื้อ ได้รับปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอในแต่ละวัน ผลผลิตจากอาหารเสริมโปรตีนจึงได้รับการตอบรับอย่างมาก ทั้งในรูปแบบของโปรตีนซึ่งได้มาจากทั้งพืชและสัตว์ ผลผลิตจากเครื่องดื่มจากพืชเสริมโปรตีนโดยส่วนใหญ่ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดจะทำมาจากนมถั่วเหลือง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลผลิตจากเครื่องดื่มจากพืชคือถั่วแดง ใช้สารให้ความหวานมอลทิทอลแทนการใช้น้ำตาลและเสริมโปรตีนจากพืชโดยใช้โปรตีนจากถั่วลันเตา (Pea protein) เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคที่ต้องการเสริมโปรตีนและเหมาะสำหรับเป็นโปรตีนทางเลือกแก่ผู้ที่ไม่ต้องการบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของเนื้อสัตว์ ซึ่งในถั่วแดงประกอบด้วยสารอาหารโปรตีน คาร์โบไฮเดรตไขมัน แร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก วิตามิน วิตามินบี 1 บี 2 และเส้นใยอาหารสูงทั้งยังประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ในถั่วแดง 100 กรัม ให้พลังงาน 346 กิโลแคลอรี โปรตีน 18.20 กรัม ไขมัน 2.20 กรัม ใยอาหาร 23.80 กรัม คาร์โบไฮเดรต 63.30 กรัม⁶ โปรตีนจากถั่วลันเตาเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง ประกอบไปด้วยโปรตีน (ร้อยละ 20-25) มีกรดอะมิโนจำเป็นครบทุกชนิด

ไขมัน (ร้อยละ 1.5-2) คาร์โบไฮเดรตในรูปของแป้ง (ร้อยละ 24-49) ใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ 60-65) โดยแบ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ร้อยละ 2-9 และ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ร้อยละ 10-15 นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและแคลเซียม⁸

วิธีการวิจัย

1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของนมถั่วแดง

แช่ถั่วแดง ในน้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 60 นาที กรองแยกน้ำออก นำถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกแล้วไปปั่นด้วยน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ อัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 1:5 1:7 และ 1:9 ปั่นด้วยเครื่องปั่นอาหาร (Hamilton Beach) ความเร็วรอบ 20,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที/ครั้ง จำนวน 5 ครั้ง กรองแยกกากถั่วแดงส่วนที่ไม่ละเอียดออกด้วยกระชอนตาถี่ จากนั้นนำนมถั่วแดงที่ได้ไปให้ความร้อนอุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการทดสอบดังนี้

1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total soluble solid) ด้วยเครื่อง Hand reflectometer

1.2 ความหนืด (Viscosity) ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer หัววัดหมายเลข 61 ความเร็วในการหมุน 150 rpm เวลาในการอ่านค่า 20 วินาที

1.3 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความข้นหนืด) โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

2 ศึกษาปริมาณสารให้ความหวานที่เหมาะสมในนมถั่วแดง

ศึกษาปริมาณสารให้ความหวานที่เหมาะสมในนมถั่วแดง โดยใช้สารให้ความหวานมอลทิทอลเตรียมนมถั่วแดงตามอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำจากอัตราส่วนที่คัดเลือกได้จากขั้นตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณมอลทิทอลร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ของปริมาณนมถั่วแดง การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (9-point hedonic scale) โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

3 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของนมถั่วแดงโปรตีนสูง

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในนมถั่วแดงโดยเตรียมนมถั่วแดงตามอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำจากอัตราส่วนที่คัดเลือกได้จากขั้นตอนที่ 1 ปริมาณสารให้ความหวานมอลทิทอลที่คัดเลือกได้จากขั้นตอนที่ 2 และเพิ่มปริมาณโปรตีนโดยการเสริมโปรตีนจากถั่วลันเตา ร้อยละ 10 เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนมากกว่าร้อยละ 20 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการใน 1 วันต่อ 350 มิลลิลิตร (ปริมาณโปรตีนที่วัยผู้ใหญ่ ต้องการต่อวัน)⁵ โดยปริมาตร 350 มิลลิลิตรเป็นปริมาตรของนมโปรตีนสูงส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด จากนั้นทำการทดสอบดังนี้

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของนมถั่วแดง ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า ไยอาหาร⁷ คาร์โบไฮเดรตและพลังงานทั้งหมด (คำนวณ)

4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

รายงานผลการทดลองในรูปของคะแนนเฉลี่ย(Mean) $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS for Windows ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เป็นวิธีวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของนมถั่วแดง

การศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างถั่วแดงและน้ำ โดยศึกษาในอัตราส่วน 1:3, 1:5, 1:7 และ 1:9 (Figure 1) ศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและความหนืดของนมถั่วแดง (Table 1) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณอัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละอัตราส่วน โดยอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำระดับ 1:3 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดปริมาณสูงที่สุดส่วนระดับอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำ 1:9 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยที่สุด โดยผลการทดลองสอดคล้องกับค่าความหนืด พบว่าเมื่ออัตราส่วนของถั่วแดงต่อน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดลดลงเนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกันในทุกอัตราส่วน โดยอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำระดับ 1:3 มีความหนืดสูงที่สุด และอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำระดับ 1:9 มีความหนืดน้อยที่สุด

Table 1. Physical characteristics of red bean milk with different ratios of red bean to water (n=3)

Physical characteristics	The ratio between red bean to water (w/v)			
	1:3	1:5	1:7	1:9
Total soluble solids (%w/v)	1.10 ± 0.10 ^a	0.96 ± 0.05 ^b	0.76 ± 0.05 ^c	0.56 ± 0.05 ^d
viscosity (cP)	192.9±0.30 ^a	25.6±0.15 ^b	15.5±0.70 ^c	12.9±0.26 ^d

*Mean in the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05).



Figure 1. Red bean milk with different ratios of red beans to water (w/v)

การศึกษารายอมรับทางประสาทสัมผัสของนมถั่วแดงที่มีอัตราส่วนของถั่วแดงต่อน้ำที่แตกต่างกัน (Table 2) ผลการศึกษพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้คะแนนการยอมรับด้านรสชาติและความชอบโดยรวมลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากรสชาติที่

เจือจางลงและความหอมกลิ่นถั่วแดงที่เป็นเอกลักษณ์ลดลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้น โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำที่ระดับ 1:5 สูงกว่าอัตราส่วนอื่นโดยเมื่ออัตราส่วนของถั่วแดงต่อน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 1:7 และ 1:9 ทำให้คะแนนการยอมรับลดลง จากผลการศึกษาผู้วิจัยจึงคัดเลือกอัตราส่วนระหว่างถั่วแดงและน้ำที่อัตราส่วน 1:5 เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป



Table 2. Sensory acceptance score of red bean milk with different ratios of red bean to water (n=50)

Attribute	The ratio between red beans to water (w/v)			
	1:3	1:5	1:7	1:9
Appearance	7.35±1.34 ^{ab}	7.58±1.04 ^b	6.88±1.51 ^b	7.38±1.41 ^{ab}
Color ^{ns}	7.35±1.22	7.23±1.07	7.08±1.50	7.29±1.24
Aroma ^{ns}	7.32±1.31	7.38±1.10	6.85±1.25	7.29±1.38
Flavor ^{ns}	7.32±1.17	7.41±1.15	7.03±1.33	7.41±1.18
Taste	7.67±1.19 ^a	7.64±0.98 ^a	6.91±1.44 ^b	7.23±1.39 ^{ab}
Texture ^{ns}	7.35±1.39	7.41±0.98	6.91±1.44	7.05±1.30
Overall preferences	7.41±1.32 ^{ab}	7.57±1.19 ^a	6.85±1.32 ^b	7.32±1.45 ^{ab}

*Mean in the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05).

*NS, no significant differences (p>0.05).

2. ศึกษาปริมาณสารให้ความหวานที่เหมาะสมในนมถั่วแดง

การศึกษาปริมาณสารให้ความหวานที่เหมาะสมในนมถั่วแดง โดยการศึกษาปริมาณมอลทิทอลที่ระดับร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 (Figure 2) ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณมอลทิทอลจากระดับร้อยละ 5-15 ส่งผลให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ

สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมอลทิทอลร้อยละ 5 และร้อยละ 15 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณมอลทิทอลเป็นระดับร้อยละ 20 พบว่าคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทุกด้านมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากนมถั่วแดงมีรสชาติหวานมากขึ้น

Table 3. Sensory acceptance test scores of red bean milk with maltitol at different levels

Attribute	Maltitol (%)			
	5	10	15	20
Appearance	6.93±1.27 ^b	7.25±7.11 ^{ab}	7.76±0.99 ^a	7.60±0.97 ^a
color	6.88±1.23 ^c	7.25±0.97 ^{bc}	7.74±1.02 ^a	7.55±0.98 ^{ab}
Aroma	6.88±1.00 ^c	7.30±0.96 ^b	7.76±0.97 ^a	7.39±0.92 ^{ab}
Flavor	6.76±1.15 ^c	7.25±0.97 ^{bc}	7.81±1.18 ^a	7.44±1.33 ^{ab}
Taste	6.62±1.21 ^b	7.39±1.00 ^a	7.90±1.19 ^a	7.58±1.33 ^a
Texture	6.72±1.24 ^c	7.16±0.99 ^{bc}	7.72±1.16 ^a	7.58±1.11 ^{ab}
Overall preferences	6.69±1.12 ^c	7.34±0.97 ^b	7.95±1.21 ^a	7.69±1.24 ^{ab}

*Mean in the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05).



Figure 2. Red bean milk with maltitol content at different levels

3. องค์ประกอบทางเคมีและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของนมถั่วแดงโปรตีนสูง

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มนมถั่วแดง อัตราส่วน 1:5 เติมน้ำให้ความหวานมอลทิทอลที่ร้อยละ 15 และโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 10 (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นมถั่วแดง 100 กรัม พบว่ามีโปรตีน 10.50 กรัม

ไขมัน 0.01 กรัม คาร์โบไฮเดรต 0.12 กรัม ความชื้น 77.50 กรัม เถ้า 0.34 กรัม โยอาหารทั้งหมด 11.65 กรัม และให้พลังงาน 88.67 กิโลแคลอรี ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้จากนมถั่วแดง ปริมาณ 10.50 กรัม ในนมปริมาตร 100 มิลลิลิตร เมื่อคำนวณต่อ 350 มิลลิลิตร พบว่ามีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 36.7 กรัม

Table 4. Chemical compositions of red bean milk

Chemical compositions	Red bean milk (100 g)
Moisture	77.50 g
Protein	10.50 g
Fat	0.01 g
Ash	0.34 g
Total Carbohydrate	0.12 g
Energy	88.67 kcal
Crude Fiber	11.65 g

อภิปรายผล

การศึกษาอัตราส่วนของถั่วแดงต่อน้ำ เมื่อปริมาณสัดส่วนของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืดลดลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมด

ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ส่วนผสมทั้งหมดเจือจางลง ปริมาณของแข็งทั้งหมดจึงลดลงด้วย ถั่วแดงมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ได้แก่

แป้งซึ่งเป็นแหล่งของพลังงานและใยอาหาร ซึ่งถั่วแดง 100 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 63.30 กรัมและเป็นใยอาหารถึง 23.80 กรัม⁶ ใยอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำ โดยใยอาหารในถั่วแดงประเภทที่ไม่ละลายน้ำจะพบบริเวณผิวของถั่วแดง เมื่อดูดซับน้ำจะทำให้เกิดการพองตัว และใยอาหารกลุ่มที่ละลายน้ำได้จะเกิดเจลเมื่อจับกับน้ำ⁹ ซึ่งการพองตัวของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและการเกิดเจลกับน้ำของใยอาหารที่ละลายน้ำมีผลโดยตรงต่อความหนืดและปริมาณของแข็งทั้งหมดของนมถั่วแดง ดังนั้นเมื่อนำถั่วแดงมาบดรวมกับน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้นมถั่วแดงที่ได้มีปริมาณแป้งและปริมาณใยอาหารแตกต่างกันด้วย ส่งผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนืดของนมถั่วแดง โดยผลการทดลองสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเลียนแบบนมจากกระบี่ที่ศึกษาอัตราส่วนระหว่างกระบี่ต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1:2, 1:2.5 และ 1:3 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของกระบี่ต่อน้ำเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนืดของนมนมกระบี่ลดลง¹⁰

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อนมถั่วแดงที่มีอัตราส่วนของถั่วแดงและน้ำที่แตกต่างกันเมื่ออัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้คะแนนการยอมรับลดลง เนื่องจากนมถั่วแดงมีความเจือจางกลิ่นรสของถั่วแดงซึ่งเป็นเอกลักษณ์ลดลง ทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับที่ลดลงด้วย ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาอัตราส่วนของข้าวกล้องต่อน้ำเท่ากับ 1:3, 1:4 และ 1:5 เพื่อเตรียมสำหรับการผลิตนมเปรี้ยวพร้อมดื่มจากข้าวกล้องงอก ผลการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นทำให้

คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง โดยพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับอัตราส่วนของข้าวกล้องต่อน้ำที่ระดับ 1:5 สูงที่สุด¹¹ และการเตรียมเครื่องดื่มในลักษณะของนมนมกระบี่ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนของกระบี่ต่อน้ำที่เหมาะสมคือ 1:2.5¹⁰

ปัจจุบันมีการใช้สารให้ความหวานที่หลากหลายในผลิตภัณฑ์นมจากธัญพืชเนื่องจากผู้บริโภคให้ความใส่ใจกับการดูแลสุขภาพมากขึ้น การศึกษาปริมาณการใช้สารให้ความหวานมอลทิทอลในนมถั่วแดง ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับปริมาณมอลทิทอลที่ระดับร้อยละ 15 สูงที่สุด ทั้งนี้การใช้สารให้ความหวานในเครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสารให้ความหวานและชนิดของเครื่องดื่ม เช่น การใช้สารให้ความหวานซูคราโลสในผลิตภัณฑ์น้ำเต้าหู้ที่ระดับร้อยละ 0.08, 0.17 และ 0.33 ของน้ำหนักน้ำตาลซูโครส ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบน้ำเต้าหู้ที่เติมซูคราโลสร้อยละ 0.17 ของน้ำหนักน้ำตาลซูโครสมากที่สุด³ การใช้น้ำตาลหญ้าหวานในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมอลต์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าการใช้น้ำตาลหญ้าหวานได้ที่ระดับร้อยละ 0.5 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับสูงที่สุด² เป็นต้น

การพัฒนาสูตรเพื่อให้ได้นมถั่วแดงที่มีปริมาณโปรตีนสูงเกินร้อยละ 20 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการต่อวันตาม ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องการหลักเกณฑ์ในการกล่าวอ้างทางโภชนาการบนฉลากอาหาร โดยการเพิ่มโปรตีนจากถั่วลิ้นเตาในนมถั่วแดง จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของนมถั่วแดง พบว่านมถั่ว

แดงมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 10.50 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งหากคำนวณเปรียบเทียบกับนมถั่วแดงต่อปริมาตร 350 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณของนมโปรตีนสูงที่วางจำหน่ายโดยทั่วไปในท้องตลาดซึ่งมีหลากหลายยี่ห้อพบว่า นมถั่วแดงจะมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 36.7 กรัม ซึ่งปริมาณโปรตีนในนมโปรตีนสูงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 28-32 กรัมโปรตีนต่อ 350 มิลลิลิตร ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทยในวัยผู้ใหญ่ ผู้ชายควรได้รับอยู่ในช่วง 56-61 กรัมต่อวัน และผู้หญิงควรได้รับอยู่ในช่วง 49-53 กรัมต่อวัน⁴ หากผู้บริโภคดื่มนมถั่วแดงโปรตีนสูงปริมาณ 350 มิลลิลิตร จะได้รับโปรตีนคิดเป็นร้อยละ 60.16 สำหรับผู้ชายและร้อยละ 69.24 สำหรับผู้หญิงโดยคิดเป็นร้อยละของปริมาณโปรตีนที่ร่างกายต้องการใน 1 วัน ดังนั้นเครื่องดื่มนมถั่วแดงโปรตีนสูงจึงสามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นเครื่องดื่มที่ให้โปรตีนสูง ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการบริโภคอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูง ผู้ที่ออกกำลังกาย นักกีฬาที่ต้องการเสริมสร้างกล้ามเนื้อ และยังเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่เป็นผลิตภัณฑ์จากสัตว์หรือผู้ที่รับประทานอาหารมังสวิรัต ผู้ที่รับประทานอาหาร plant base เนื่องจากโปรตีนที่มีในนมถั่วแดงเป็นโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้ในถั่วแดงยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ แอนโทไซยานิน และมีวิตามินที่หลากหลาย เช่น ไทอะมิน ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน วิตามินบี 1 และ บี 2 เป็นต้น มีใยอาหารสูง (23.8 กรัมต่อ 100 กรัม) ซึ่งประกอบด้วยใยอาหารที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนใหญ่ สามารถช่วยลดการดูดซึมไขมันและชะลอการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือด⁶ ถั่วลันเตาที่เสริมใน

นมถั่วแดงเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนพบว่าเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง การเติมโปรตีนจากถั่วลันเตาส่งผลต่อลักษณะปรากฏของนมถั่วแดงน้อยมาก และไม่ได้มีผลในการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งโปรตีนจากถั่วลันเตาที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วยโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบทุกชนิด มีโปรตีน 80 กรัม/100 กรัม ไขมัน 6.9 กรัม/100 กรัม มีใยอาหาร 4.4 กรัม/100 กรัม นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วย แร่ธาตุ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและแคลเซียม⁶ นอกจากนี้ข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเพียงพอที่สามารถระบุถึงปริมาณโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่สามารถเป็นอันตรายต่อร่างกายได้อย่างแน่นอน เนื่องจากหากร่างกายได้รับปริมาณกรดอะมิโนมากเกินไป ร่างกายอาจจะเผาผลาญเป็นพลังงานทั้งหมดหรือแปลงเป็นไขมัน องค์การอนามัยโลกแนะนำว่าไม่ควรบริโภคโปรตีนเกิน 2 เท่าของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน เนื่องจากการบริโภคมากเกินไปอาจทำให้ระบบทางเดินอาหารและไตทำงานหนักในการแปลงโปรตีนที่เกินไปให้เป็นคาร์โบไฮเดรตและไขมันได้ ดังนั้นควรระมัดระวังและควบคุมปริมาณโปรตีนที่บริโภคในปริมาณที่เหมาะสมตามความต้องการของร่างกายเพื่อรักษาสุขภาพที่ดีโดยรวมของร่างกาย⁴

สรุปผลการวิจัย

นมถั่วแดงโปรตีนสูงเตรียมได้จากการนำถั่วแดงบดกับน้ำในอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำเท่ากับ 1:5 ปริมาณมอลทิทอลที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์นมถั่วแดงคือร้อยละ 15 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่งเป็นปริมาณที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูงที่สุด นมถั่วแดงที่เสริมโปรตีนจากถั่วลันเตาร้อยละ 10 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 36.7 กรัมต่อ 350 มิลลิลิตร



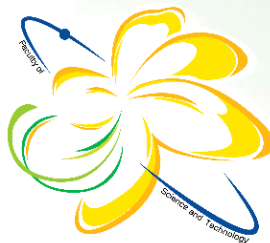
ซึ่งเป็นปริมาณของนมโปรตีนสูงที่วางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และหากบริโภค 1 ภาชนะบรรจุจะให้ปริมาณโปรตีนคิดเป็นร้อยละ 60.16 สำหรับผู้ชาย และร้อยละ 69.24 สำหรับผู้หญิงโดยคิดเป็นร้อยละของปริมาณโปรตีนที่ร่างกายต้องการใน 1 วัน ซึ่งผลิตภัณฑ์นมถั่วแดงสามารถกล่าวอ้างทางโภชนาการได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโปรตีนสูง

เอกสารอ้างอิง

1. อภิรดา รินพล, เนตรชนก หลวงแสน, พิมพร ดอนมูล. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วพีช. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร; 1-4 กุมภาพันธ์ 2554; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 2554. หน้า 141-147.
2. สุนัน ปานสาคร, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีในการปรับส่วนผสมของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมนังคละธิญบุรี 2563;18:157-68.
3. นนทพร รัตนจักร, อังชณา ปานเกิดผล, ภรภัทร ลำอาจค์, ไอรศ รักชาติ, ธิติรัตน์ แสนพรม, อรุณลักษณ์ โชตินาครินทร์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเต้าหู้เพื่อสุขภาพโดยใช้ซูคราโลสและปลายข้าวหอมนิล. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 2563;16:49-59.
4. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. กรุงเทพฯ: เอ.วี.โปรเกรสซีฟ; 2563.
5. กระทรวงสาธารณสุข. หลักเกณฑ์ในการกล่าวอ้างทางโภชนาการบนฉลากอาหาร. [อินเทอร์เน็ต]. 2541 [เข้าถึงเมื่อ 20 ก.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก <https://food.fda.moph.go.th/media.php?id=509290251919958016&name=P182.PDF>
6. อุษาพร ภูค์สมาส. ถั่วแดงแหล่งโปรตีนจากพืช. อาหาร 2561;48:59-62.
7. AOAC. Official Method of Analysis of AOAC International. USA; 2000.
8. Shanthakumar P, Klepacka J, Bains A, Chawla P, Dhull SB, Najda A. The current situation of pea protein and its application in the food industry. Molecules 2022;27:1-29.
9. Campbell M. Things You Need to Know About the Health Benefits of Red Beans. [Internet]. 2017 [cited 2023 July 20]. Available from: https://district.schoolnutritionandfitness.com/hamburg_1501717446202/files/Health%20Benefits%20of%20Red%20Beans.pdf
10. นราธร สัตยชี้อ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เลียนแบบนมจากกระเจี๊ยบ. [วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร; 2562.
11. ดวงเดือน วัฒนารักษ์. การผลิตนมเปรี้ยวพร้อมดื่มจากข้าวกล้องงอก. สักทอง:วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สทวท.) 2560;4:413-21.



PBRU



Faculty of Science and Technology
Phetchaburi Rajabhat University



Tel. 0 3270 8633 Fax. 0 3270 8661

Website: <http://sciencejournal.pbru.ac.th>

E-mail: sciencejournal@mail.pbru.ac.th