



PBRU Science Journal

ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2568

Volume 22 Number 1 January - June 2025

ISSN 2773-9716 (online)



PBRU Science Journal

ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2568

Volume 22 Number 1 January - June 2025

ISSN 2773-9716 (online)

ชนิดของสารเพิ่มความชื้นหนืดจากพืชในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขอสปรุงรสอาหารเนกประสงค์
เพื่อสุขภาพ.....1-14

ศุภักษร มาแสง, ขวัญสกุล มบุญมี, สุภาวดี ลูกอินทร์, ฌนนท์ แดงสังวาลย์, น้อมจิตต์ สุธิบุตร และ
ศันสนีย์ ทิมทอง*

การประเมินคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ทำจาก
แป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลัง.....15-29

ติณณภพ สมพงษ์, น้อมจิตต์ สุธิบุตร, สรรชนีย์ เต็มเปี่ยม และ ศุภักษร มาแสง*

ฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดส ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารพฤกษเคมีของรากสับสองราศี
.....30-41

วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล*, พิชิต สุดตา และ ปัทมาพร ยอดสันติ

ผลของการใช้แปรงกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์สโคน.....42-55

จรรยา โทะะนาบุตร*, สังวาล ชมพุดา, ราตรี เมฆวิสัย, วิชชุดา ปรากุล และ เสาวลักษณ์ ดวงใจ
อิทธิพลเครื่องรีดนมอัตโนมัติแบบเก็บผลผลิตรายตัวต่อผลผลิต และคุณภาพน้ำมันในแพะนม

.....56-66

ดำรงศักดิ์ อาลัย*, ทวีรัตน์ ก้อนเครือ, เทิดศักดิ์ อาลัย, ชยุต พลอยจิรภาส
และ บัณฑิตพงษ์ ศรีอานวย

Chemical Composition and Antibacterial Activity of Plant Essential Oils against
Human Pathogenic Bacteria.....67-82

Apichart Hirunsuk* and Oratai Sukcharoen

อาหารสมทบจากขมิ้นผงเมืองป่านเพื่อเลี้ยงปลากินพืชในรูปแบบการเลี้ยงกึ่งพัฒนา.....83-96
พรทิศา ทองสนธิกาญจน์

Community-Participatory IoT Water Quality Monitoring System for Saline
Intrusion Management in Orchid Cultivation..... 97-111

Arpapan Sattayaviboon and Tantus Piekkoontod*



PBRU Science Journal

ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2568

Volume 22 Number 1 January - June 2025

ISSN 2773-9716 (online)

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสนาะ กลิ่นงาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ ไกรเนตร์
อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ

อธิการบดี

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษกร อ้วยงษ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกรัตน์ จิรสังจานุกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนธรา สุนธธาราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เมธิยา แยมเจริญกิจ
อาจารย์ ดร.สมิตานันท์ จันทะบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

นางสาวอรุณี แก้วบริสุทธิ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.จรรยา จักรมณี
ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข
ศาสตราจารย์ ดร.ปริญทร์ ชัยวิสุทธิวงกุล
ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ภูวไพริศริศกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.จินตนา วิบูลย์ศิริกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธนนท์ หงส์วริทธิ์ธร
รองศาสตราจารย์ ดร.วราห์ เทพาหุดี
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ กงบังเกิด
รองศาสตราจารย์ ดร.อนิมา ดงแสนสุข
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ลิ้มมงคล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลวดี แก้วกำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ปราบเสียง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉลอมชัย กล้าณรงค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี นางงาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี ศรีมีเทียน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสิทธิ์ โทจำปา
อาจารย์ ดร.พิรวิทย์ เชื้อวงษ์บุญ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยศิลปากร



PBRU Science Journal

ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2568

Volume 22 Number 1 January - June 2025

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 และเพื่อนำไปสู่การพัฒนางานองค์ความรู้ใหม่และนวัตกรรมที่ทันสมัย ซึ่งผลงานที่สามารถเผยแพร่ในวารสารมีทั้งบทความวิจัย (research article) ทางด้านวิทยาศาสตร์ เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา จุลชีววิทยา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณิตศาสตร์ สถิติ คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยบทความที่จะขอรับการตีพิมพ์ ต้องเป็นผลงานที่ไม่ได้ทำการคัดลอกจากผลงานของผู้อื่น ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น โดยทุกบทความต้องผ่านการดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง

กำหนดการตีพิมพ์

ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน

ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม

-บทความทุกเรื่องในวารสารฉบับนี้ ได้รับพิจารณาประเมินคุณภาพทางวิชาการก่อนการตีพิมพ์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากภายใน หรือภายนอกมหาวิทยาลัยจำนวน 3 ท่านต่อ 1 บทความ

-บทความและแนวคิดใด ๆ ที่พิมพ์ใน PBRU Science Journal เป็นความรับผิดชอบของผู้แต่ง

-กองบรรณาธิการวารสารไม่สงวนสิทธิ์ ในการคัดลอกเพื่อการพัฒนาเชิงวิชาการ แต่ต้องได้รับการอ้างอิงอย่างถูกต้อง

-ไม่มีกาเรียกเก็บค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ในวารสาร PBRU Science Journal

ชนิดของสารเพิ่มความข้นหนืดจากพืชในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหาร อเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ

Types of Plant-based Thickeners in the Healthy All-Purpose Seasoning Sauce Development

ศุภักษร มาแสวง¹, ขวัญสกุล มิบุญมี², สุภาวดี ลูกอินทร์², ณนันทน์ แดงสังวาลย์², น้อมจิตต์ สุธิบุตร¹ และคันสนีย์ ทิมทอง^{2*}
Supuksron Masavang¹, Kwansakul Miboonmee², Supawadee Lookin², Nanoln Dangsungwal², Nomjit Suthibut¹
and Sansanee Thimthong^{2*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²สาขาวิชาอุตสาหกรรมบริการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹Department of Food Technology, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology
Phra Nakhorn

²Department of Food Service Industry, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhorn

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

Received: 23 August 2024 /Revised: 30 January 2025 /Accepted: 30 January 2025

บทคัดย่อ

ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์สำเร็จรูปเพื่อสุขภาพในงานวิจัยนี้ พัฒนาจากกระบวนการผลิตน้ำสต็อกชนิดสีน้ำตาลและซอสสีน้ำตาล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของพืชที่ใช้เพิ่มความข้นหนืดในซอส 3 ชนิด ได้แก่ พักทอง มันฝรั่ง และเผือก ในปริมาณร้อยละ 20 ของส่วนผสมทั้งหมด ทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ และการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนด้านรสชาติซอสที่เติมพักทองมีคะแนนความชอบสูงที่สุด การตรวจสอบค่าสีพบว่าซอสที่เติมเผือกมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าดัชนีสีแดง (a^*) และค่าดัชนีสีเหลือง (b^*) สูงกว่าซอสที่เติมมันฝรั่งและพักทองตามลำดับ ($p\leq 0.05$) ส่วนค่าการไหลของซอสที่เติมมันฝรั่งจะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาเป็นสูตรที่เติมพักทองและเผือกตามลำดับ นอกจากนี้ซอสสูตรที่เติมพักทองมีค่าพลังงานและคาร์โบไฮเดรตน้อยสุด รองลงมาเป็นซอสที่เติมมันฝรั่งและเผือกตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจด้านผลิตภัณฑ์ ด้านบรรจุภัณฑ์ และด้านราคา อยู่ในระดับมาก ผลการวิเคราะห์ผลการศึกษารายอมรับผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพผู้ทดสอบให้ความยอมรับตัวผลิตภัณฑ์ ด้านบรรจุภัณฑ์มีความเหมาะสม ผลการวิเคราะห์เหมาะสม และด้านปริมาณบรรจุ 150 กรัม ที่ร้อยละ 100, 97, 98 และ 84

ตามลำดับ การศึกษานี้เสนอแนวทางในการผลิตซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์ที่ใช้สารให้ความข้นหนืดจากพืช ช่วยปรับเนื้อสัมผัส สี และลดพลังงานในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพนี้ได้

คำสำคัญ: ซอสปรุงรสอาหาร สารให้ความข้นหนืดจากพืช การประเมินคุณภาพ การยอมรับผลิตภัณฑ์

Abstract

The healthy all-purpose seasoning sauces in this research are formulated from brown stock and brown sauce recipes. The purpose of this work was to study 3 types of plant-based thickeners in sauce, there were pumpkin, potato and taro at 20% of total ingredients. The sauces were examined for physical quality and consumer acceptance of the products. From sensory evolution results, the panelists gave no difference score for appearance, odor, taste, texture and overall acceptance ($p>0.05$), whereas the color of sauce containing pumpkin and potato showed the highest score ($p\leq 0.05$). The color measurements showed that taro-added sauce had higher lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) than that of sauces contained potato and pumpkin, respectively ($p\leq 0.05$). The consistency of the potato-added sauce was the highest, followed by the formula containing pumpkin and taro, respectively. In addition, the pumpkin-added sauce had the lowest energy and carbohydrate content, followed by the potato and taro-added sauce, respectively. From the results of the analysis of factors affecting product selection, it was found that the testers were satisfied with the product, the packaging, and the price at a high level. For the analysis of the acceptance study of the healthy all-purpose food seasoning sauce, the testers accepted the product in term of the packaging is appropriate, the label is appropriate and the quantity of 150 grams at 100%, 97%, 98% and 84%, respectively. This study proposes guidelines to produce all-purpose seasoning sauces that utilizes plant-based thickeners to enhance texture, improve color, and reduce energy content in this health-conscious food product.

Keywords: Seasoning Sauce, Plant-based Thickener, Quality Assessment, Product Acceptance

บทนำ

ซอสปรุงรสเป็นเครื่องปรุงรสที่ได้รับความนิยมอย่างมาก จากการสำรวจมูลค่าตลาดเครื่องปรุงรสในประเทศไทย ประเภท ซอสปรุงรส เครื่องปรุงรสสำเร็จรูป ผงชูรส เครื่องเทศ และอื่น ๆ

ตั้งแต่ปี 2561-2565 มีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เฉลี่ยร้อยละ 4.0 ต่อปี¹ ซอสปรุงรสทั่วไป มักมีส่วนประกอบของโมโนโซเดียมกลูตาเมต หรือ ผงชูรส อีกทั้งยังมีส่วนประกอบของเกลือและน้ำตาลในปริมาณมาก² กล่าวว่า คนไทยส่วนใหญ่

จะมีพฤติกรรมการเติมเครื่องปรุงในปริมาณมากเกินไป เช่น น้ำปลา เกลือ ซอสปรุงรส ในการประกอบอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติ ทำให้เสียได้รับโซเดียมเกินกว่าความต้องการในแต่ละวัน ซึ่งในเกลือ 1 ช้อนชา ให้ปริมาณโซเดียมสูงถึง 1,900-2,000 มิลลิกรัม ในอาหารเช่น ข้าวกะเพราไก่ 1 จาน จะให้โซเดียมเท่ากับ 1,298 มิลลิกรัม ซึ่งกรมอนามัยแนะนำให้ไม่ควรบริโภคโซเดียมเกินวันละ 2,000 มิลลิกรัม ซึ่งหากบริโภคมากเกินไปเป็นประจำจะเสี่ยงให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคไต โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง และโรคอ้วน และยังมีความเสี่ยงในการเป็นโรคกระดูกพรุน³ ด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 มีผลทำให้ผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพ นิยมทำอาหารรับประทานเองมากขึ้น ทำให้มีความสนใจในการเลือกวัตถุดิบที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้น สอดคล้องกับ⁴ ที่กล่าวว่าพฤติกรรมผู้บริโภคในยุคโควิด-19 ใส่ใจสุขภาพมากขึ้นและให้ความสำคัญกับคุณค่าและประโยชน์ของสารอาหาร ผู้บริโภคสนใจอ่านฉลากโภชนาการมากขึ้น และมักเลือกซอสปรุงรสอาหารที่มีโซเดียมต่ำและเน้นรสอูมามิที่มาจากวัตถุดิบธรรมชาติมากขึ้น อีกทั้งกระแสสุขภาพยังคงเป็นกระแสหลักในสังคมไทย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเห็นได้จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสเพื่อสุขภาพที่หลากหลายมากขึ้น

รสอูมามิ หรือรสอร่อยในอาหาร ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อปี 1908 โดยศาสตราจารย์ คิคุนาเอะ อิเคดะ มหาวิทยาลัยโตเกียว พบว่าซุปรที่ทำจากสาหร่ายคอมบุมีรสชาติอร่อย ซึ่งไม่ใช่รสชาติพื้นฐาน ได้แก่ หวาน เค็ม เปรี้ยวและขม การนำสาหร่าย

คอมบุมาสกัดจนได้เป็นผลึกเกลือของกรดอะมิโนกลูตามิก ที่ชื่อว่า “กลูตาเมต” (Glutamate) และได้ตั้งชื่อให้รสชาตินี้ว่า “อูมามิ”⁵ รสอูมามิที่มีอยู่ในวัตถุดิบจากธรรมชาติ การประกอบอาหารที่จะให้กลิ่นและรสชาติโดยใช้เครื่องปรุงรสที่ให้โซเดียมสูง เช่น เกลือและน้ำปลานั้น ต้องมีการจับคู่ (Synergistic Umami) ของวัตถุดิบที่มีกลูตาเมตและอินโนซิเนต (Inosinate) ยกตัวอย่างในอาหารญี่ปุ่นจะใช้วัตถุดิบที่มีกลูตาเมตได้แก่ สาหร่ายคอมบุจับคู่กับอินโนซิเนต ได้แก่ ปลาโอแห้ง และในอาหารตะวันตกจะใช้วัตถุดิบที่มีกลูตาเมตได้แก่ แครอท หัวหอมใหญ่ และชีสข่อยฝรั่ง จับคู่กับอินโนซิเนต ได้แก่ เนื้อวัว⁶ จะทำให้อาหารรสชาติของอาหารอร่อยและเด่นชัดขึ้น

ซอสสีน้ำตาล (Brown sauce) เป็นหนึ่งในแม่ซอสของการประกอบอาหารตะวันตก ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำสต็อกสีน้ำตาล เนื้อสัตว์ ผักเพิ่มรสชาติได้แก่ หอมใหญ่ แครอท และชีสข่อยฝรั่ง เครื่องเทศและสมุนไพร ซอสจะมีสีเข้ม และรสชาติเข้มข้นจากการเคี่ยวเป็นเวลานาน เพิ่มความข้นหนืด (Thickening agents) ด้วยแป้งสาลีผัดกับเนย⁷ นิยมนำไปรับประทานคู่กับอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และเพิ่มสีสันให้กับอาหาร เช่น นำไปประกอบอาหารประเภทพาสต้า ราดบนเนื้อสัตว์ย่างหรืออบ เป็นต้น ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำกระบวนการผลิตซอสสีน้ำตาลมาใช้ในการผลิตซอสปรุงอาหาร (Cooking sauces) ที่มีโซเดียมต่ำ และปราศจากกลูเตนจากแป้งสาลี แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ในพืช ที่เก็บสะสมไว้ในผลไม้ เมล็ดพืช รากในรูปของธัญพืช หัว แขน

ลำต้น และเหง้า เป็นส่วนประกอบคาร์โบไฮเดรตหลักในอาหารของมนุษย์ เช่น มันฝรั่ง ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด พักทอง เผือก และมันสำปะหลัง^๖ แป้งประกอบด้วยโพลีเมอร์ 2 ชนิด ได้แก่ อะมิโลส (Amylose) และอะมิโลเพคติน (Amylopectin) ในการวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาการใช้โดยใช้พักทอง มันฝรั่ง และเผือก ซึ่งเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต มีคุณสมบัติในการเกิดเจล มีความข้นหนืด มีความคงตัว และปราศจากกลูเตน มาใช้ในการพัฒนาซอสปรุงรอาหารอเนกประสงค์

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดผลิตซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์สำเร็จรูปเพื่อสุขภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของสารเพิ่มความข้นหนืดที่มีต่อคุณภาพด้านกายภาพ โภชนาการ และประสาทสัมผัสของซอสปรุงรสอาหาร และ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพโดยนำกระบวนการผลิตน้ำสต็อกชนิดสีน้ำตาล (Brown stock) และกระบวนการผลิตซอสสีน้ำตาล (Brow sauce) ซึ่งเป็นเทคนิคในการตั้งรสชาติ สีกลิ่น และกลิ่นมาประยุกต์ใช้ในการผลิตซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์สำเร็จรูปเพื่อสุขภาพปราศจากเครื่องปรุงรสโซเดียมสูง เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่หันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการใช้สารให้ความข้นหนืดจากพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตซอสเพื่อให้ได้ซอสปรุงรสอาหารชนิดอื่น ๆ ที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

วิธีการวิจัย

1. การคัดเลือกวัตถุดิบ

ชนิดของพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบใช้เพิ่มความข้นหนืดให้กับซอสในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ พักทองพันธุ์ทองอำไพ มันฝรั่งพันธุ์สบันตา และเผือกหอม เตรียมโดยการล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นขนาด $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ นิ้ว

2. กระบวนการผลิตน้ำสต็อกสีน้ำตาล

นำสูตรพื้นฐานน้ำสต็อกสีน้ำตาลจากหนังสือซอสสำหรับการประกอบอาหารตะวันตก⁷ ส่วนผสมน้ำสต็อกสีน้ำตาลแสดงดัง Table 1

Table 1. The recipes of brown stock

Ingredients	Amount (g)	Amount (%)
Chicken		
frames	3,000	29.79
Water	6,000	59.59
Onion	400	3.97
Carrot	200	1.99
Celery	200	1.99
Tomato	150	1.49
Leek	100	0.99
Bay leaf	5	0.05
Parsley	2	0.02
Thyme	2	0.02
Garlic	10	0.10

กระบวนการผลิตน้ำสต็อก เริ่มจากตัดแต่งไขมันจากโครงไก่ นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 45 นาที (เตาอบยี่ห้อ Fagor รุ่น ACE-061) จากนั้นใส่ผักรวมเพิ่มรสชาติ ได้แก่ หัวหอมใหญ่ แครอท และขึ้นฉ่ายฝรั่ง อบต่อ 30 นาที ใส่ลงในหม้อ (Stock pot) ที่มีน้ำเปล่า ใส่ต้นกระเทียม

มะเขือเทศ ใบกระวาน ก้านผักชีฝรั่ง ใบโหระพา ต้มไฟปานกลางให้ได้อุณหภูมิคงที่ 85 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พักไว้ให้เย็นกรองเอาแต่น้ำเพื่อนำไปผลิตเป็นซอสสีน้ำตาล

3. ศึกษาคุณลักษณะคุณภาพทางกายภาพ ประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคต่อซอสปรุงอาหารที่ใช้พืช 3 ชนิด เป็นส่วนผสมในการให้ความข้นหนืด

ผลิตซอสสีน้ำตาลโดยดัดแปลงวิธีทำ⁸ เริ่มจากนำเนื้อไก่ผัดกับน้ำมันพืชให้มีสีน้ำตาล

เล็กน้อย ใส่ผักรวมเพิ่มรสชาติ ได้แก่ หัวหอมใหญ่ แครอท และขึ้นฉ่ายฝรั่ง ผัดให้ผักมีสีน้ำตาล จากนั้นใส่พืชมีแป้งเป็นองค์ประกอบเพื่อเพิ่มความข้นหนืดให้กับซอส 3 ชนิด ได้แก่ พักทอง มันฝรั่ง และเผือก ในปริมาณร้อยละ 20 ของส่วนผสมทั้งหมด เติมน้ำสต็อกสีน้ำตาล เคี่ยวเป็นเวลา 20 นาที นำไปปั่นให้ละเอียด ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองแสดงดัง Table 2

Table 2 Formulation of healthy all-purpose seasoning sauce using 3 types of plant-based thickeners

Ingredients	Pumpkin (%)	Potato (%)	Taro (%)
Brown stock	70.00	70.00	70.00
Chicken	2.00	2.00	2.00
Oil	1.00	1.00	1.00
Onion	13.00	13.00	13.00
Celery	7.00	7.00	7.00
Carrot	7.00	7.00	7.00
Pumpkin	20.00	-	-
Potato	-	20.00	-
Taro	-	-	20.00

นำตัวอย่างที่ได้ไปประเมินคุณภาพดังนี้

3.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ⁹ ใช้ผู้ทดสอบชิมเป็นนักศึกษาคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลพระนคร จำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ตามแผน Randomized Complete Block Design ; RCBD ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี DMRT : Duncan's new multiple range test นำเสนอตัวอย่างซอสปรุงรสอาหาร ทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยการนำซอสปรุงรสอาหารปริมาณ 100 กรัม ใส่กระเทาะตั้งไฟปานกลาง

ให้ซอสมีอุณหภูมิ 85°C ใส่เนื้อมะเขือเทศสไลด์หนา 0.5 เซนติเมตร ปริมาณ 50 กรัม ผัด 5 นาที ตักใส่ภาชนะสำหรับชิม ทำการติดป้ายรหัสแบบสุ่มด้วยเลข 3 หลัก และต้องกั้วปากด้วยน้ำอุ่นเพื่อกำจัดรสชาติของตัวอย่างก่อนหน้า นำเสนอที่ละตัวอย่างตามลำดับ

3.2 การวัดค่าสี (Color measurement)

นำซอสปรุงรสอาหารเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ ปริมาณ 50 มิลลิกรัม ใส่ลงใน Petri dish ทำการวัดค่าสีในระบบ $\text{CIE L}^* \text{a}^* \text{b}^*$ ของตัวอย่างด้วยเครื่อง Spectrophotometer (CM-3500d, Konica Minolta, Japan) แล้วบันทึกค่า $\text{L}^* \text{a}^*$ และ b^* โดยค่าความสว่าง (L^*) มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่าดัชนีสีแดง (a^*) เมื่อค่า a^* มีค่าบวกบ่งบอกถึงความเป็นสีแดง หากค่า a^* มีค่าลบ บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว และค่าดัชนีสีเหลือง (b^*) เมื่อค่า b^* มีค่าบวกบ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง หากค่า b^* มีค่าลบ บ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงิน

3.3 การวัดค่าการไหล (Consistency)

นำซอสปรุงรสอาหารเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ 3 ตัวอย่าง ปริมาณ 300 มิลลิกรัม มาวัดค่าการไหลบนรางวัดของเครื่อง Bostwick Consistometer ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้ววัดระยะทางการไหล ในเวลา 30 วินาที ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ แล้วบันทึกระยะทางการไหลของซอสปรุงรสในหน่วยเซนติเมตร (cm)

3.4 คำนวณคุณค่าทางโภชนาการ

คำนวณคุณค่าทางโภชนาการด้วยโปรแกรม Thai Nutri Program (TNS) version 0.2 ของสำนักโภชนาการ กรมอนามัย เพื่อหาค่าพลังงาน

คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและน้ำตาล

4. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อซอสปรุงรสอาหารเนกประสงค์สำเร็จรูปเพื่อสุขภาพ

ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารเนกประสงค์เพื่อสุขภาพที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 1 ทดสอบกับผู้บริโภค จำนวน 100 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สุ่มตัวอย่างแบบไม่เจาะจง หรือการสุ่มแบบบังเอิญ (Accidental sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือแบบสอบถาม (Questionnaire) ดัดแปลงข้อคำถามจาก¹⁰ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค ลักษณะแบบสอบถามแบบตรวจสอบรายการ (Check list) ส่วนที่ 2 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการซื้อผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหาร ลักษณะแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ส่วนที่ 3 การยอมรับผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ ลักษณะแบบสอบถามแบบตรวจสอบรายการ และส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ ลักษณะแบบสอบถามแบบสอบถามปลายเปิด (Opened form) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้ แบบสอบถามส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 3 วิเคราะห์หาค่าความถี่ (Frequency) และสรุปเป็นร้อยละ (Percentage) แบบสอบถามส่วนที่ 2 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: S.D.) แบบสอบถามส่วนที่ 4 วิเคราะห์เนื้อหาหาค่าความถี่ (Frequency) และสรุปเป็นร้อยละ (Percentage)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาคุณลักษณะคุณภาพทางกายภาพ ประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคต่อซอสปรุงรสอาหารที่ใช้พืช 3 ชนิด เป็นส่วนผสมในการให้ความชื้น

1.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของซอสปรุงรสอาหารที่ใช้พืช 3 ชนิด ได้แก่ พักทอง มันฝรั่ง และเผือก เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับผลิตภัณฑ์ แสดงดัง Table 3 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้าน ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนคะแนนความชอบด้านสีพบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนซอสที่เติมพักทอง และมันฝรั่ง สูงกว่าการใช้เผือก ($p\leq 0.05$) ซึ่งคล้อยกับภาพของซอสที่จาก Figure 1 โดยซอสที่เติมพักทอง และมันฝรั่ง จะมีสีน้ำตาลเข้มกว่าซอสที่เติมเผือก แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชิมชอบซอสปรุงรสอาหารที่มีสีน้ำตาลเข้ม โดยสีน้ำตาลของซอสปรุงรสเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อนทำให้เกิดสีน้ำตาลปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโน (Amino acid) และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งผลที่ได้จากปฏิกิริยานั้นจะเป็นสารประกอบที่ให้สีน้ำตาล รวมทั้งมีกลิ่นและรสต่าง ๆ ส่งผลในเรื่องของสีและรสชาติที่เข้มข้น¹¹ คุณภาพด้านสีถือเป็นปัจจัย

ที่ส่งผลต่อการตอบสนองทางอารมณ์ของผู้บริโภค และความตั้งใจซื้อผลิตภัณฑ์ซอสสีน้ำตาล ซึ่งการศึกษาของ¹² ได้รายงานผลการวิจัยในซอสที่มีสีน้ำตาลเข้มปานกลางและเข้มมาก ได้แสดงผลเชิงบวกของความเข้มของสีซอสต่อความคาดหวังเรื่องความเค็ม ผลกระทบเชิงบวกของความคาดหวังเรื่องความเค็มต่ออารมณ์ และผลกระทบเชิงบวกของอารมณ์ต่อความตั้งใจซื้อโดยมีปัจจัยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นเชื่อว่าทั้งสีน้ำตาลระดับปานกลางและสีน้ำตาลเข้มจึงเป็นทางเลือกที่ผู้บริโภคนิยม ในขณะที่ซอสที่มีสีน้ำตาลอ่อนผลการทดสอบในเชิงลบ เช่นเดียวกับซอสปรุงรสอาหารจากพักทองที่มีสีเข้มที่สุดจะมีผลต่อความรู้สึกด้านรสชาติของผู้ทดสอบชิมด้วย ซึ่งสีน้ำตาลในซอสปรุงรสอาหารในงานวิจัยอาจส่งผลต่อความชอบด้านรสชาติผู้ทดสอบชิม ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าคะแนนชอบใน Table 3 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบการใช้พักทองในซอสสูงกว่า มันฝรั่งและเผือกเล็กน้อย อาจเป็นเพราะในการทำซอสมีการใส่น้ำสต็อกไก่ ซึ่งมีกลูตาเมตและอินโนซิเนต ส่วนพักทองก็จะมีสารกลูตาเมตสูงเมื่อมีการใช้สาร 2 ชนิดนี้รวมกัน จะส่งผลให้มีรสอูมามิสูงขึ้น 7 เท่า¹³ สอดคล้องกับ⁶ ที่กล่าวว่า การจับคู่ (Synergistic umami) ของวัตถุดิบที่มีกลูตาเมตและอินโนซิเนต จะช่วยให้รสชาติมีความเข้มข้นขึ้นด้วย

Table 3 Sensory evaluation scores of healthy all-purpose seasoning sauce using 3 types of plant based thickeners.

Sensory evaluation	Mean sensory evaluation scores		
	Pumpkin	Potato	Taro
Appearance ^{ns}	6.74±1.81	6.44±1.59	6.64±1.57
Color	7.65±1.49 ^a	7.58±1.52 ^a	6.46±1.30 ^b
Odor ^{ns}	6.56±1.81	6.66±1.44	6.73±1.31
Taste ^{ns}	5.93±1.76	5.76±1.81	5.50±1.71
Texture ^{ns}	6.33±1.64	6.06±1.59	6.03±1.49
Overall acceptance ^{ns}	6.26±1.57	6.13±1.54	6.03±1.40

Remark: ^{a,b} Mean values with different letters in each row are significantly different ($p \leq 0.05$)

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



Pumpkin

Potato

Taro

Figure 1 Healthy all-purpose seasoning sauce using 3 types of plant based thickeners



Table 4 The results of the analysis of the average color and consistency measurements of in the healthy all-purpose seasoning sauce using 3 types of plant based thickeners.

Properties	Pumpkin	Potato	Taro
Color			
L*	23.51±0.02 ^c	29.51±0.02 ^b	33.16±0.01 ^a
a*	6.92±0.01 ^c	8.77±0.02 ^b	10.45±0.01 ^a
b*	6.94±0.04 ^c	12.22±0.04 ^b	16.93±0.01 ^a
Consistency (cm)	7±0.06 ^b	8±0.04 ^a	6.5±0.5 ^c

Remark: ^{a,b,c} Mean values with different letters in each row are significantly different ($p < 0.05$)

1.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยการตรวจวัดค่าสีและการไหล

ผลการวัดค่าสีใน Table 4 พบว่าซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพที่เติมผักทอง มันฝรั่ง และเผือก มีค่าความสว่าง (L*) ค่าดัชนีสีแดง a* และค่าดัชนีสีเหลือง (b*) มีค่าเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้สัมพันธ์กับสีของซอสทั้ง 3 ตัวอย่าง ที่ปรากฏใน Figure 1 คือซอสจากผักทองจะมีสีเข้มที่สุด รองลงมาคือซอสจากมันฝรั่ง และซอสจากเผือกจะมีสีอ่อนที่สุด ในเผือกมีค่า L* สูงเป็นเพราะองค์ประกอบของแป้งเผือกที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำหลังการเกิดเจลลาคีในเซชันด้วยความร้อนจะเกิดเจลที่หุน แป้งเกิดการคืนตัวน้อย อีกทั้งมีค่าการส่องผ่านของแสงต่ำกว่าร้อยละ 10¹⁴ อีกทั้งในเผือกจะมีสารสีที่มีอยู่ในออร์แกเนลล์ที่เรียกว่าพลาสติค ชื่อว่าลิวโคพลาสติค (Leucoplast) เป็นพลาสติคที่ไม่มีสารสี มีหน้าที่สะสมแป้งที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง พบในเซลล์รากและลำต้นส่วนที่ไม่มีสี เช่น มันเทศ มันแกว เผือก หัวไชเท้า เป็นต้น จึงทำให้เผือกมีสีขาว ส่งผลให้ซอสที่เติมเผือกมีสีอ่อนตามไปด้วย¹⁵ โดยค่าดัชนีสีเหลืองซอสที่เติมเผือกมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมี

แนวโน้มเช่นเดียวกับค่า L* เป็นเพราะซอสที่ใช้เผือกมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าซอสที่เติมผักทองและมันฝรั่ง ส่งผลให้ค่าดัชนีสีแดงและดัชนีสีเหลืองไม่ถูกบดบังด้วยเฉดสีน้ำตาลของซอสปรุงรสอาหาร

ผลการวัดค่าการไหลของซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพใน Table 4 พบว่าซอสที่เติมมันฝรั่งมีค่าสูงกว่าตัวอย่างซอสที่เติมผักทอง และเผือกตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าซอสที่เติมมันฝรั่งมีความข้นหนืดน้อยที่สุดจะทำให้ระยะทางการไหลในรางของเครื่อง Bostwick Consistometer ยาวกว่าตัวอย่างอื่น ซึ่งพืชทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ในการเพิ่มความข้นหนืดในซอส มีองค์ประกอบของแป้งซึ่งเป็นสายโพลีเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวในแกรนูลแป้งที่แตกต่างกัน คือ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน โดยปริมาณอะไมโลสในแป้งมันฝรั่ง (ร้อยละ 36.0) ซึ่งสูงกว่าแป้งเผือก (ร้อยละ 5.6-23.5) และแป้งผักทอง (ร้อยละ 18-21) ตามลำดับ¹⁵⁻¹⁶ โดยแป้งที่มีอะไมโลสสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการคืนตัวของแป้งสูง¹⁷ ส่งผลให้ซอสที่เติมมันฝรั่งมีความข้นหนืดน้อยกว่าซอสที่เติมผักทองและเผือก อีกทั้งแกรนูลแป้งของมันฝรั่ง แป้งเผือก และแป้งผักทอง มีขนาด 85, 5-15, และ 3-40 ไมครอน ตามลำดับ

มีรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้แสดงผลของขนาดเม็ดแกรนูลต่อกำล้างการพองตัว (SP) และความหนืดของแป้ง แกรนูลขนาดใหญ่ทำให้ค่า SP และความหนืดสูงกว่าแป้งที่มีแกรนูลขนาดเล็ก เนื่องจากความสามารถในการกักเก็บน้ำสูงการพองตัวของเม็ดจะเพิ่มสัดส่วนของปริมาตรและทำให้แป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้นเม็ดบวมขนาดใหญ่จะทำให้เกิดการพัฒนาความหนืดได้มากขึ้นระหว่างการเกิดเจลลาติไนเซชัน

1.3 ผลการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการ

ผลการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการของซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ โดยคำนวณคุณค่าทางโภชนาการด้วยโปรแกรม Thai Nutri Survey Program (TNS) version 0.2 ผลการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการของซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ ปริมาณหน่วยบริโภค 100 กรัม แสดงดัง Table 5

Table 5 Nutritional value of healthy all-purpose seasoning sauce using 3 types of plant based thickeners (100 g)

Nutritional	type of plant-based thickeners		
	Pumpkin	Potato	Taro
Energy (Kcal)	76.04	83.04	103.54
Carbohydrate (g)	11.30	12.70	18.16
Protein (g)	2.28	2.84	2.62
Fat (g)	2.40	2.36	2.30
Fiber (g)	1.20	2.70	2.10

จาก Table 5 พบว่า ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพที่ใช้ตัวเพิ่มความข้นหนืดจากพืชที่แตกต่างกัน 3 ชนิด พบว่า การใช้พื้กทองเป็นตัวเพิ่มความข้นหนืดจะให้พลังงาน และคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาคุณภาพทางกายภาพและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซอสปรุงรสอาหารสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพ พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยการใช้พื้กทองเป็นตัวเพิ่มความข้นหนืด เนื่องจากมีคะแนนความชอบด้านต่าง ๆ สูงกว่าการใช้มันฝรั่งและเผือก อีกทั้งมีคุณภาพ ด้านสี และค่าการไหลที่สอดคล้องกับผลการประเมินทางประสาทสัมผัส

2. ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ

จากผลการตรวจสอบคุณภาพด้านกายภาพ การทดสอบทางประสาทสัมผัส และผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของซอสปรุงรสอาหารที่ได้รับการคัดเลือกและนำมาศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์คือ ซอสปรุงรสอาหารสูตรที่เติมพื้กทอง เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด มีค่า L* ต่ำที่สุด มีค่าการไหลอยู่ในระดับปานกลาง รวมถึงมีค่าพลังงานและปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด ผู้วิจัยจึงนำซอสอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพสูตรที่เติมพื้กทอง

ไปบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ ออกแบบโลโก้ และฉลากของผลิตภัณฑ์ดัง Figure 2 และนำไปคำนวณต้นทุนการผลิตประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรง ต้นทุนแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายในการผลิต พบว่า ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ ปริมาณ 150 กรัม มีราคา 80 บาท



Figure 2 The label and packaging

จากการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 70 คน คิดเป็นร้อยละ 70.00 และเพศชายจำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 30.00 ด้านอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ส่วนใหญ่มีอายุ 22 ปี จำนวน 34 คน คิดเป็นร้อยละ 34.00 อายุ 21 ปี จำนวน 31 คน คิดเป็นร้อยละ 31.00 อายุ 20 ปี จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 25.00 อายุ 19 ปี จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 7.00 และอายุ 23 ปี จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 3.00 ตามลำดับ

2.1 ผลการวิเคราะห์ผลการศึกษาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเลือกซื้อซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ

Table 7. Analysis results of the study on the factors influencing purchase decisions healthy all-purpose seasoning sauce products

Factors	($\bar{X}$)	S.D
1. Product Factors		
Delicious taste	4.17	0.80
Pleasant aroma	4.16	0.80
Health benefits	4.37	0.73
Unique and interesting	4.32	0.72
2. Packaging Factors		
Clear details	4.19	0.73
Aesthetic and modern design	4.16	0.80
Safety and convenience for consumption	4.24	0.83
3. Price Factors		
Quantity appropriate for the price	4.03	0.83
Price matches the product quality	4.13	0.82

จาก Table 7 พบว่า ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ ผู้บริโภคจำนวน 100 คน ให้คะแนนความชอบในปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์รสชาติอร่อย กลิ่นหอม มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย และมีความแปลกใหม่น่าสนใจ มีคะแนนเฉลี่ย 4.17, 4.16, 4.37 และ 4.32 ตามลำดับ ปัจจัยด้านบรรจุภัณฑ์พบว่า บรรจุภัณฑ์บอกรายละเอียดของซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ ความสวยงามและ

ความทันสมัยของบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยและสะดวกในการรับประทาน มีคะแนนเฉลี่ย 4.19, 4.16 และ 4.24 ตามลำดับ ปัจจัยด้านราคาพบว่า ปริมาณเหมาะสมกับราคา และราคาเหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีคะแนนเฉลี่ย 4.03 และ 4.13 ตามลำดับ

2.2 ผลการวิเคราะห์ผลการศึกษารายยอมรับผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ

Table 8. Consumer test of the healthy all-purpose seasoning sauce products

Consumer test	Frequency	%
1. The testers accepted the product (Product acceptability)		
accepted	100	100.00
not accepted	0	0
Total	100	100.00
2. The packaging is appropriate (Appropriate package)		
appropriate	97	97.00
inappropriate	3	3.00
Total	100	100.00
3. The label and packaging is appropriate (Appropriate label and package)		
appropriate	98	98.00
inappropriate	2	2.00
Total	100	100.00
4. Price of 80 baht quantity of 150 grams (80 baht /150 grams Price/serving size)		
appropriate	84	84.00
inappropriate	16	16.00
Total	100	100.00

จาก Table 8 ผลการศึกษารายยอมรับผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ พบว่าผู้บริโภครายอมรับผลิตภัณฑ์

ร้อยละ 100 บรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมร้อยละ 97 ฉลากมีความเหมาะสมร้อยละ 98 ผลิตภัณฑ์ราคา 80 บาท ปริมาณบรรจุ 150 กรัม เหมาะสมร้อยละ 84

สรุปผล

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์สำเร็จรูปเพื่อสุขภาพใช้พืชที่มีองค์ประกอบของแป้งเพิ่มความข้นหนืดที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรที่มีการใช้ผักทองร้อยละ 20, น้ำสต็อกสีน้ำตาลร้อยละ 70, หัวหอมใหญ่ร้อยละ 13, ขึ้นฉ่ายฝรั่งร้อยละ 7, แครอทร้อยละ 7, เนื้อมะเขือเทศร้อยละ 2 และน้ำมันพืชร้อยละ 1 มีคะแนนความชอบจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีมากที่สุด ส่วนด้านลักษณะปรากฏกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการแสดงให้เห็นว่าซอสที่ใช้ผักทองเพิ่มความข้นหนืดมีค่าพลังงานและคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผู้บริโภคมีความพึงพอใจด้านผลิตภัณฑ์ด้านบรรจุภัณฑ์ และด้านราคา อยู่ในระดับมาก ผลการวิเคราะห์ผลการศึกษากการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพ พบว่า ยอมรับผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 100 บรรจุภัณฑ์มีความเหมาะสมร้อยละ 97 ฉลากมีความเหมาะสมร้อยละ 98 ผลิตภัณฑ์ราคา 80 บาท เหมาะสมปริมาณบรรจุ 150 กรัม ร้อยละ 84 การศึกษานี้แสดงให้เห็นแนวทางในการผลิตซอสปรุงรสอาหารอเนกประสงค์เพื่อสุขภาพที่พืชเพิ่มความข้นหนืด รวมถึงสามารถลดพลังงานในผลิตภัณฑ์เพื่อให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้

อย่างไรก็ดีการนำผลิตภัณฑ์ไปตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเพิ่มเติม เช่น ค่า pH ค่าเพอร์ออกไซด์ จุลินทรีย์ทั้งหมด รา ยีสต์ และโคลิฟอร์ม รวมถึงการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เป็นสิ่งที่น่าสนใจในการต่อยอดงานวิจัยในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อนุเคราะห์สถานที่ ห้องปฏิบัติการเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. รายงานตลาดอาหารในประเทศไทย [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 15 ธ.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: https://fic.nfi.or.th/upload/market_overview/Rep_Sauce_18.02.15.pdf
2. ทิพรดี คงสุวรรณ. คู่มือแนวทางการส่งเสริมสุขภาพชะลอชรา ชีววัยยืนยาว [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 7 มี.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://eh.anamai.moph.go.th/th/elderly-manual/201573>
3. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. โซเดียม=เค็ม [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 15 ต.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: [https:// resourcecenter.thaihealth.or.th/healthliteracy/list?type=ทุกประเภท&search=โซเดียม=เค็ม](https://resourcecenter.thaihealth.or.th/healthliteracy/list?type=ทุกประเภท&search=โซเดียม=เค็ม)

4. อภินันท์ สุประเสริฐ. โอกาสของธุรกิจอาหารไทยในยุควิกฤตโควิด-19 [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 15 พ.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก : <https://sme.krungthai.com/sme/productListAction.action?command=getDetail&cateMenu=KNOWLEDGE&catelId=54&itemId=397>
5. ธัญญา สิงห์ปรีชา. คั้นหารสอร่อย “อูมามิ” ผ่านการจับคู่วัตถุดิบตามธรรมชาติ [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 7 มี.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก <https://plus.thairath.co.th/topic/everydaylife/100221>
6. Umami Information Center. Umami synergy [Internet]. 2023 [cited 2023 Aug 13]. Available from: <https://th.umamiinfo.com/richfood/>.
7. ศันสนีย์ ทิมทอง. ขอสสำหรับการประกอบอาหารตะวันตก. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์; 2561.
8. Bojarczuk A, Skapska S, Khaneghah AM, Marszałek K. Health benefits of resistant starch: A review of the literature. J Funct Foods 2022;93:105094.
9. อัจฉรา ดลวิทยาคูณ. การทดลองอาหาร. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์; 2566.
10. อรญา บำรุงศิลป์ และเบญจรัตน์ นิสัยกล้า. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวน้ำพริกนรก. [โครงการพิเศษคหกรรมศาสตรบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร; 2564.
11. นิธิยา รัตนปนนท์. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์; 2549.
12. Ketkaew C, Wongthahan P, Sae-Eaw A. How sauce color affects consumer emotional response and purchase intention: A structural equation modeling approach for sensory analysis. Brit Food J 2021;123:2152-69.
13. นุติ หุตะสิงห์. เทคนิคการตั้งรสชาติอาหาร โดยการใช้ชูบปักทองเป็นตัวช่วย [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 30 ต.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก <https://www.facebook.com/page/105874777790879/search/?q=ชูบปักทอง>
14. Aprianita A, Purwandari U, Watson B, Vasiljevic T. Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. Int Food Res J 2009;16:507-20.
15. Srichuwong S, Jane JI. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. Food sci biotechnol 2007;16:663-74.
16. Yin L, Wang C. Morphological, thermal and physicochemical properties of starches from squash (*Cucurbita maxima*) and pumpkin (*Cucurbita moschata*). Journal Hortic 2016;3:187.
17. Charles AL, Chang YH, Ko WC, Siroth K, Huang T. C. Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. J agric food chem 2005;53:2717-25.

การประเมินคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลัง

Quality and Sensory Evaluation of Gluten-Free Pasta Made from Black Glutinous Rice Flour and Cassava Starch

ติณณภพ สมพงษ์, น้อมจิตต์ สุธิบุตร, สรรชนีย์ เต็มเปี่ยม และ สุภาศร มาแสวง*

Tinnapop Sompong, Nomjit Sutheebut, Sansanee Tempaim and Supuksorn Masavang*

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

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

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

Received: 03 February 2025 /Revised: 04 April 2025 /Accepted: 04 April 2025

บทคัดย่อ

แป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังมีศักยภาพในการใช้ทดแทนแป้งสาลีเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการเพื่อเป็นทางเลือกในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตน งานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 60:40 70:30 และ 80:20 ในการผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตน ร่วมกับการเติมแซนแทน ร้อยละ 3 ทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบคุณภาพการต้มสุก ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการประเมินทางประสาทสัมผัสของพาสต้า โดยผลการทดลองแสดงว่า การเพิ่มสัดส่วนแป้งข้าวเหนียวดำและลดแป้งมันสำปะหลังช่วยลดเวลาในการต้มสุกและเพิ่มการขยายของเส้นพาสต้าต้มสุก แต่ส่งผลให้มีการสูญเสียระหว่างการต้มมากขึ้น ค่าสีของพาสต้ามีความเปลี่ยนแปลงตามปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำ โดยค่าความสว่างลดลงเนื่องจากปริมาณของแป้งข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้น ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พาสต้าสูตร 70:30 มีความแข็งแรง ค่าการยึดติด ความยืดหยุ่น ค่าพลังงานในการบดเคี้ยวใกล้เคียงสูตรควบคุมที่สุด การทดสอบทางประสาทสัมผัสระบุว่าพาสต้าปราศจากกลูเตนสูตร 70:30 ได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ซึ่งผลการวิจัยทำให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นี้อาจเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้ในกลุ่มผู้บริโภคอาหารปราศจากกลูเตนได้

คำสำคัญ: พาสต้าปราศจากกลูเตน แป้งข้าวเหนียวดำ แป้งมันสำปะหลัง

Abstract

Black glutinous rice flour and tapioca starch have potential as substitutes for wheat flour to enhance nutritional value and serve as alternatives in developing gluten-free pasta products. This research investigated the ratios of black glutinous rice flour and tapioca starch in three proportions: 60:40, 70:30, and 80:20, combined with 3% xanthan gum, in the production of gluten-free pasta. The study examined cooking quality, color, texture characteristics, and sensory evaluation of the pasta. The results showed that increasing the proportion of black glutinous rice flour and decreasing tapioca starch reduced cooking time and increased the expansion of cooked pasta. However, this also resulted in greater cooking losses. The pasta's color changed with the amount of black glutinous rice flour, with brightness decreasing due to anthocyanins in black rice. In terms of texture, the 70:30 formulation had hardness, adhesiveness, elasticity, and chewing energy values closest to the control formula. Sensory testing indicated that the 70:30 gluten-free pasta formulation received acceptance comparable to the control formula. The deep purple color and natural aroma enhanced consumer acceptance, making this product a promising innovation in the gluten-free food market.

Keywords: Gluten-free pasta, Glutinous rice flour, Cassava starch

บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักสำหรับผู้คนในหลายประเทศประเทศไทยและประเทศในเอเชีย โดยมักบริโภคในรูปแบบข้าวสุกหรือใช้เป็นส่วนประกอบในขนมหวาน ในช่วงที่ผ่านมา ข้าวสี เช่น ข้าวดำ ข้าวแดง หรือข้าวสีม่วง ได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากมีสารสำคัญที่พบในชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ¹ โดยเฉพาะในข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* L.) มีลักษณะเมล็ดสีม่วงเข้ม ซึ่งมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลักที่พบในข้าวดำคือแอนโทไซยานิน ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ สารนี้ให้สีแก่เมล็ดข้าวและมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพ เช่น การป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด

รวมถึงมะเร็งบางชนิด²⁻³ มันสำปะหลังเป็นพืชในเขตร้อนที่มักใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตอาหาร แป้งมันสำปะหลังทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบหลักในให้ความชื้นเหนียว การพองตัว และให้คุณภาพเนื้อสัมผัสตามต้องการของผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตาม แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าข้าวสาลี จึงไม่สามารถทดแทนข้าวสาลีได้ในบางแง่มุม เนื่องจากขาดโปรตีนกลูเตน⁴

ปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์พาสต้าได้รับความนิยมจากกลุ่มอายุต่าง ๆ ทั่วโลก เนื่องจากนำมาใช้ปรุงอาหารได้หลากหลายมีรสชาติแตกต่างกันจากซอสและซูปที่ใช้ สะดวก และง่ายต่อการขนส่ง ผลิตภัณฑ์พาสต้าผลิตจากแป้งเซโมลินา ซึ่งไม่ด้วย



วิธีพิเศษจากแป้งข้าวสาลีชนิดดรัม โปรตีนกลูเตนในแป้งสาลีมีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพของพาสต้าที่สามารถสร้างโครงสร้างและให้เนื้อสัมผัสที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์อาหารได้⁵ อย่างไรก็ตามพาสต้าจากข้าวสาลีไม่เหมาะสำหรับผู้ที่เป็นโรคเซลิแอค (Celiac disease) เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันของผู้ป่วยมีอาการผิดปกติที่ทำให้เกิดโรคลำไส้แปรปรวนซึ่งเกิดจากการกินโปรตีนกลูเตน⁶ เนื่องจากข้าวไม่มีโปรตีนกลูเตน ข้าวจึงเป็นอาหารที่ปลอดภัยสำหรับผู้ที่ได้รับผลกระทบจากโรคเซลิแอค และมักถูกนำมาใช้ในการผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตน ทั้งในรูปแบบข้าวเพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับวัตถุดิบอื่นที่ไม่มีกลูเตนชนิดอื่นและ/หรือวัตถุดิบอาหารอื่น ๆ เช่น กว๊ากัม แชนแทนกัม เป็นต้น⁷⁻⁸ ก่อนหน้านี้มีรายงานผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าว เช่น การใช้แป้งข้าวเจ้า แป้งควินัวและแป้งจากเมล็ดผักโขม (Amaranth seed) ในอัตราส่วน 5:4:1 ทำให้เส้นสปาเก็ตตี้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด⁹ การพัฒนาเส้นอุด้งที่ใช้แป้งข้าว 88% ร่วมกับแป้งมันฝรั่ง 15% ทดแทนแป้งสาลีในสูตรดั้งเดิมทำให้เส้นยังคงความเหนียวหนึบและขาดยาก¹⁰ การเพิ่มโปรตีนและเส้นใยด้วยแป้งข้าวและแป้งถั่วปากอ้าในพาสต้าปราศจากกลูเตนและยังปรับปรุงคุณภาพหลังการต้มของพาสต้าให้มีเนื้อสัมผัสที่ดีไม่เปื่อยยุ่ย¹¹ การทดแทนแป้งสาลีในพาสต้าปราศจากกลูเตนด้วยแป้งข้าวเหนียวและแป้งถั่วเขียวและเสริมด้วยแชนแทนกัม 2% ทำให้เส้นพาสต้ามีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรที่ใช้แป้งสาลีมากที่สุด⁸ การใช้แป้งมันสำปะหลัง 80%

ร่วมกับแป้งข้าวโพด 20% เสริมด้วยแชนแทนกัม 0.8% และโปรตีนอัลบูมิน (Albumin) 1.5% ทำให้คุณภาพการต้มสุกของพาสต้าปราศจากกลูเตนดีขึ้นและมีคุณภาพที่ดีในระหว่างเก็บรักษา 8 เดือน¹² นอกจากนี้การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวดำบางส่วนพบว่าระดับการของข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เพิ่มสารฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ แต่ทำให้ค่า ระยะเวลาในการต้มสุก (Cooking time) ลดลงในขณะที่มีการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้ม (Cooking loss) สูงขึ้น และระดับการทดแทนแป้งข้าวเหนียวที่ 40% ได้รับคะแนนความชอบจากผู้บริโภคมากที่สุด¹³

ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจด้านสุขภาพเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการขยายตัวของตลาดอาหารเพื่อสุขภาพ จึงมีการพัฒนาสูตรการผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตนเพื่อเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่ผานความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมอาหาร แม้ว่าจะมีการพัฒนาพาสต้าหลายประเภทจากข้าวขาว ข้าวกล้อง และธัญพืชชนิดอื่น ๆ แต่ยังไม่พบรายงานเกี่ยวกับการพัฒนาพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ใช้แป้งข้าวเหนียวดำร่วมกับแป้งมันสำปะหลังเสริมแชนแทนกัม การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังเสริมแชนแทนกัม พร้อมทั้งประเมินคุณภาพการสุก คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของพาสต้าที่ผ่านการปรุงสุก ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบในประเทศไทยในการผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตน



วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

แป้งข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* L.) ที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกซื้อเป็นเมล็ดข้าวสารในครั้งเดียวจากวิสาหกิจชุมชนศูนย์ข้าวชุมชนบ้านอู่แสงอำเภอรามัน จังหวัดศรีสะเกษ ประเทศไทย ข้าวถูกเก็บไว้ในถุงพลาสติกสุญญากาศและเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้งานในภายหลัง กระบวนการบดข้าวโดยใช้เครื่องบดแบบ Cross Beater Mill SK 300 จากนั้นนำไปร่อนตะแกรงด้วยเครื่อง AS 200 control B (Retsch, Haan, Germany) โดยใช้ตะแกรงขนาด 60 เมช เพื่อให้ได้แป้งที่ละเอียด สำหรับส่วนผสมอื่น ๆ เช่น แป้งมันสำปะหลังตราแมวดวง (บริษัทเกรียงไกร (เกียงไต้) จำกัด) แป้งสาลีอเนกประสงค์ตราว่าว (United Flour Mill Public Co., Ltd.) ไข่ไก่ตราซีพี ซีเลคชั่น (บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) แชนแทนกัม ตราแม็กกาแรต (บริษัท เจอร์ เอฟ แอนด์ บี จำกัด) เกลือตราชูngthip (บริษัท เกลืออุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด) และน้ำมันมะกอกธรรมชาติ (Bertilli®, Deoleo-The Olive Oli Company) ที่ใช้ในการผลิตพาสต้าสูตรควบคุมและสูตรปราศจากกลูเตนถูกซื้อจากซูเปอร์มาร์เก็ตในท้องถิ่น

2. การผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลัง

ส่วนผสมที่เป็นของแข็งถูกผสมเข้าด้วยกัน ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวดำ แป้งมันสำปะหลัง แชนแทนกัม และเกลือ ถูกผสมด้วยมือ จากนั้นเติมน้ำมันมะกอกและน้ำจนได้แป้งโดว์ที่มีเนื้อเนียน

เป็นเนื้อเดียวกัน โดว์ที่ได้แต่ละสูตรมีน้ำหนักประมาณ 600 กรัม ทำการเตรียมโดว์สูตรละ 3 ชิ้น จากนั้นพักแป้งโดว์ไว้ 20 นาที นำแป้งโดว์มารีดผ่านเครื่องรีดพาสต้า (Pluselectric®, ประเทศจีน) โดยปรับช่องว่างของลูกกลิ้งที่ละเอียดจนเหลือประมาณ 1 มิลลิเมตร นำแผ่นแป้งโดว์ที่ได้ตัดผ่านอุปกรณ์ตัดเพื่อให้ได้เส้นพาสต้าแบบเฟตตูชินี (Fettuccine) ขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร การทดลองแบบปัจจัยเดียวถูกออกแบบโดยใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวดำต่อแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 60:40, 70:30 และ 80:20 เพื่อผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตน พาสต้าสูตรควบคุมถูกเตรียมโดยใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ เกลือและน้ำมันมะกอก รายละเอียดของสูตรพาสต้าทั้ง 4 สูตร แสดงไว้ใน Table 1

3. การประเมินคุณภาพพาสต้าหลังการต้ม (Cooking quality)¹⁴

3.1 เวลาการต้ม (Cooking time)

ตัวอย่างพาสต้าสดน้ำหนัก 10 กรัม ถูกต้มในน้ำเดือด 200 มิลลิตร ในปิกเกอร์ที่มีกระจกนาฬิกาปิดทำการจับเวลาที่ใช้ในการต้มที่ทำให้เส้นพาสต้าสุก โดยตรวจสอบตัวอย่างทุก 30 วินาที เวลาการต้มที่เหมาะสมหมายถึงระยะเวลาที่จำเป็นในการทำให้อุณหภูมิในตัวอย่างเกิดการเจลาติไนซ์ โดยพิจารณาจากการหายไปของแกนสีขาวที่บีบแข็งด้านในของพาสต้าเมื่อกระหว่งสไลด์กระจก 2 แผ่น

Table 1 Formulation of gluten-free pasta composed of black glutinous rice flour and cassava starch in various %ratio.

Ingredients (g/100 g)	Formulation (%Ratio of black glutinous rice flour and cassava starch)			
	Control	60:40	70:30	80:20
Black glutinous rice flour	-	50	59	67
Cassava starch	-	34	17	20
Wheat flour	37	-	-	-
Whole egg fresh	20	-	-	-
Xanthan gum	-	3	3	3
Salt	1	1	1	1
Extra virgin olive oil	3	3	3	3
Water	10	10	10	10

3.2 การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการต้ม (Cooking loss)

การประเมินปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม โดยนำน้ำจากการต้มเส้นพาสต้าในการวิเคราะห์ผลผลิตหลังการต้มสุก (Cooking yield) ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อขจัดความชื้นจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำของแข็งที่เหลืออยู่ไปชั่งน้ำหนัก และทำการคำนวณดังสมการดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการต้ม (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักของแข็งหลังอบ}}{\text{น้ำหนักพาสต้าก่อนต้ม}} \right) \times 100$$

3.3 การขยายตัวของพาสต้าเนื่องจากการต้ม (Volume expansion)

การขยายตัวของปริมาตรพาสต้าในระหว่างการต้มถูกวัดโดยใช้กระบอกตวงที่เติมโทลูอินจนถึงปริมาตรที่กำหนดไว้ เริ่มต้นด้วยการนำตัวอย่างที่ยังไม่ได้หุงหนัก 10 กรัม ใส่ลงในกระบอกผ่านทางด้านบน เคาะเบา ๆ เพื่อไล่ฟองอากาศ และจดบันทึกการเพิ่มขึ้นของปริมาตรหลังจากนั้น ทำการวัดปริมาตร

ของพาสต้าที่ผ่านการต้มแล้วในลักษณะเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของปริมาตรถูกคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{การขยายตัวของพาสต้าเนื่องจากการต้ม} = \left(\frac{\text{ปริมาตรของพาสต้าหลังต้ม}}{\text{ปริมาตรของพาสต้าก่อนต้ม}} \right) \times 100$$

4. การวัดค่าสี

ค่าสีของพาสต้าถูกประเมินด้วยเครื่องวัดสีแบบพกพา (Portable colorimeter) (Konica Minolta รุ่น CR-400, Japan) ในโหมดสะท้อนแสง (Reflectance mode) โดยใช้แสงสว่างมาตรฐาน D65 และตำแหน่งของผู้สังเกตมาตรฐานที่มุม 2 องศา ค่าความสว่าง (L^*), ค่าสีแดง-เขียว (a^*) และค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ของตัวอย่างแต่ละชิ้นถูกวัดโดยใช้ระบบสี CIE-LAB การวัดแต่ละครั้งตัวอย่างถูกวัดบนพื้นผิวของพาสต้าที่ต้มสุกแล้วในตำแหน่งแบบสุ่ม 10 จุด บนพื้นผิวของพาสต้า ทำการวัด 3 ครั้งต่อจุด และใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองทั้งหมดในการรายงานผล



5. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture quality)

การวิเคราะห์โปรไฟล์เนื้อสัมผัส (TPA) ของตัวอย่างพาสต้าเมื่อปรุงสุกได้รับการดำเนินการโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส TA-XT2i (Stable Micro Systems, London, UK) ที่ติดตั้งกับเซลล์โหลด 25 กก. สำหรับการวิเคราะห์ TPA ตัวอย่างพาสต้าจำนวน 20 เส้น ถูกต้มในน้ำเดือด 1,000 มิลลิลิตรเป็นเวลา 4 นาที ตัวอย่างพาสต้าได้รับการวัดเนื้อสัมผัส 5 นาทีหลังจากการปรุงเพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในพาสต้าเมื่อต้มเสร็จแล้ว การวิเคราะห์โปรไฟล์เนื้อสัมผัส (TPA) ของพาสต้าที่ผ่านการต้มและตัดให้มีความยาว 4 ซม. ถูกดำเนินการด้วยการทดสอบแบบกดอัด (Compression) 2 รอบ ใช้หัววัดสแตนเลสทรงบอกลิ้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. (P/50) ความเร็วก่อนการทดสอบ (Pre-Test speed), ความเร็วขณะทดสอบ (Test speed) และความเร็วหลังการทดสอบ (Post-Test speed) อยู่ที่ 5.0 มิลลิเมตร/วินาทีตามลำดับ ระยะการกดอัด (strain) อยู่ที่ 75% ของขนาดเดิม พร้อมกับแรงกระตุ้น (Trigger force) 5 กรัม ระยะเวลาพัก 5 วินาทีถูกกำหนดระหว่างการบีบครั้งแรกและครั้งที่สอง การทดสอบดำเนินการใน 10 ซ้ำจากแต่ละตัวอย่าง และรายงานผลค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการยึดติด (Adhesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) และค่าพลังงานที่ทำให้อาหารแตก (Gumminess)

6. การประเมินทางประสาทสัมผัส

การศึกษานี้ดำเนินการกับผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ไม่มีการฝึกฝน 50 คน โดยคัดเลือก

เฉพาะผู้ที่เคยบริโภคพาสต้าชนิดใดก็ตาม บุคคลที่แพ้หรือไม่ชอบส่วนผสมใด ๆ ที่ใช้ในสูตรถูกคัดออก ตัวอย่างเส้นพาสต้าต้มสุกน้ำหนัก 50 กรัม ถูกจัดเตรียมในถ้วยพลาสติกสีขาวพร้อมฝาปิดซึ่งติดป้ายรหัส 3 หลักแบบสุ่มในลำดับแบบโมนาดิก (Monadic sequence) และมีข้อสมมติเชื้อเทศในขวดแยกต่างหากให้สำหรับแต่ละคนเพื่อเติมลงในพาสต้า รวมทั้งมีน้ำหนึ่งแก้วสำหรับล้างรสชาติในปาก ตัวอย่างพาสต้าได้รับการประเมินในด้านลักษณะภายนอก สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความพึงพอใจโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale มีเกณฑ์ในการให้ คะแนนคือ ชอบที่สุด = 9 คะแนน ชอบมาก = 8 คะแนน ชอบปานกลาง = 7 คะแนน ชอบเล็กน้อย = 6 คะแนน เฉย ๆ = 5 คะแนน ไม่ชอบเล็กน้อย = 4 คะแนน ไม่ชอบปานกลาง = 3 คะแนน ไม่ชอบมาก = 2 คะแนน ไม่ชอบที่สุด = 1 คะแนน¹⁵

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษานี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และการออกแบบแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส การประเมินค่าความแปรปรวนของการทดลองโดยใช้การทดสอบ Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS (IBM SPSS statistics 23)

ผลการวิจัยและอภิปราย

1. คุณภาพการต้มสุกของเส้นพาสต้า (Cooking quality)

คุณภาพการต้มสุกเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค เวลาต้มสุกของสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด เมื่อมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเมื่อเติมแป้งข้าวเหนียวดำปริมาณมากขึ้นในขณะที่แป้งมันสำปะหลังลดลง ส่งผลให้เส้นพาสต้าใช้เวลาในการต้มให้สุกถึงแกนกลางเส้นลดลงจาก 6.32 นาที ของพาสต้าที่อัตราส่วนร้อยละ 60:40 เป็น 5.32 นาที สำหรับพาสต้าที่อัตราส่วนร้อยละ 80:20 หลายการศึกษาที่เกี่ยวข้องระบุว่าเวลาในการปรุงพาสต้ามีช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 13 นาที (Table 1) ซึ่งค่าเวลาในการต้มพาสต้าให้สุกที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปัจจัยที่หลากหลาย เช่น อุณหภูมิการเกิดเจลลิตินซ์ของแป้ง รูปร่าง และขนาดของแป้งโดว์ เช่น พาสต้าที่ใช้แป้งสาลีและแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในสัดส่วน 98:2, 95:5, 90:10 และ 85:15 (w/w) ใช้เวลาเฉลี่ยในการต้ม 5 นาที¹⁶ ส่วนพาสต้ารูปทรงเพนเนที่ใช้แป้งเซโมลินา และเพิ่มเส้นใยข้าวโอ๊ตใช้เวลาในการต้มที่เหมาะสมมีช่วงตั้งแต่ 7 ถึง 13.5 นาที¹⁷ ผลใน Table 2 แสดงให้เห็นว่าเวลาในการต้มสุกของเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ผลิตด้วยปริมาณแป้งข้าวดำที่เพิ่มขึ้นและแป้งมันสำปะหลังที่ลดลง อาจเป็นผลจากปริมาณอะมิโลสที่แตกต่างกันของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังที่ส่งผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลลิตินซ์ โดยแป้งข้าวเหนียวมีอะมิโลสร้อยละ 1.85-2.00 และอุณหภูมิการเกิดเจลลิตินซ์ 66-68 องศาเซลเซียส¹⁸ ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังมีอะมิโลสร้อยละ 17-21 และอุณหภูมิการเกิดเจล

ลิตินซ์ 71-74 องศาเซลเซียส¹⁹ อีกทั้ง Cornejo-Ramírez และคณะ²⁰ รายงานว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง และมีปริมาณของสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกตินน้อยในขณะที่มีสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกตินมากส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลลิตินซ์เพิ่มขึ้น อีกทั้งแป้งข้าวบาสมาดิมีอะมิโลสสูงจะมีความยาวเฉลี่ยของโมเลกุลอะมิโลเพกตินสูงกว่าเมื่อเทียบกับพาสมาติที่มีอะมิโลสต่ำ สาเหตุนี้อาจทำให้ข้าว At-405 ที่มีอะมิโลสต่ำสามารถเกิดเจลลิตินซ์ได้ง่ายและต้องการพลังงานความร้อนน้อยกว่าสำหรับการเกิดเจลลิตินซ์เมื่อเทียบกับข้าวสายพันธุ์ที่มีอะมิโลสสูง²¹

ผลค่าการสูญเสียระหว่างการต้มเส้นพาสต้าใน Table 1 แสดงให้เห็นว่าสูตรพาสต้าที่อัตราส่วนร้อยละ 80:20 มีการสูญเสียระหว่างการต้มสูงที่สุด ในขณะที่สูตรที่อัตราส่วนร้อยละ 60:40 มีการสูญเสียต่ำที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจากการขาดโครงสร้างโปรตีนเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่มีโปรตีนกลูเตนจากแป้งสาลีและโปรตีนจากไข่ ทำให้ค่าการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มต่ำกว่าพาสต้าปราศจากกลูเตนที่เมิดเกิดการพองตัวมากเกินไปและการกระจายตัวส่วนผสมในเส้นพาสต้าในน้ำที่ใช้ต้ม²² ซึ่งในสูตรพาสต้าที่ทำการศึกษามีการเติมแทนแทนกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพคุณภาพการต้มสุกของเส้นพาสต้าได้ จากการรายงานของ²³ ชี้ให้เห็นว่าการเติมแทนแทนกันและกักรักในเส้นบะหมี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพดและแป้งถั่วเขียวส่งผลให้เส้นบะหมี่ใช้เวลาในการต้มให้สุกมากขึ้น ลดการสูญเสียระหว่างการต้ม และทำให้เส้นมีความแข็งแรงและเนื้อยืดเกาะกันดีขึ้น

ปริมาณการดูดซับน้ำระหว่างการหุงข้าว แสดงถึงการขยายตัวของปริมาตรของข้าวในระหว่างการหุง (Table 1) และมีความสัมพันธ์ความยึดเกาะ (Cohesiveness) ของเนื้อพาสต้าที่ต้มสุกแล้ว²⁴ ผลการทดลองพบว่าพาสต้าสูตรควบคุมมีค่าการขยายตัวของเส้นพาสต้าต้มสุกสูงกว่าพาสต้าสูตรปราศจากกลูเตนที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลัง งานวิจัยก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าธัญพืชที่มีปริมาณอะมิโลสสูงอย่างข้าวสาลีมีความสามารถในการยัดน้ำสูงกว่า

ธัญพืชที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ²⁵ ดังนั้นการดูดซับน้ำที่สูงขึ้นแสดงถึงการขยายตัวและขนาดที่ใหญ่ขึ้นของเม็ดแป้งที่สุกแล้ว²⁶ ผลการศึกษาจึงสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้เกี่ยวกับอัตราการดูดซับน้ำระหว่างการต้มของพาสต้าสูตรที่มีปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำมากที่ร้อยละ 80:20 ซึ่งเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลส จึงเป็นเหตุผลเส้นพาสต้าดูดซับน้ำได้น้อยลงและใช้เวลาในการหุงนานกว่าพาสต้าสูตรที่ใช้แป้งข้าวเหนียวดำน้อยและแป้งมันสำปะหลังสูงที่อัตราส่วนร้อยละ 60:20

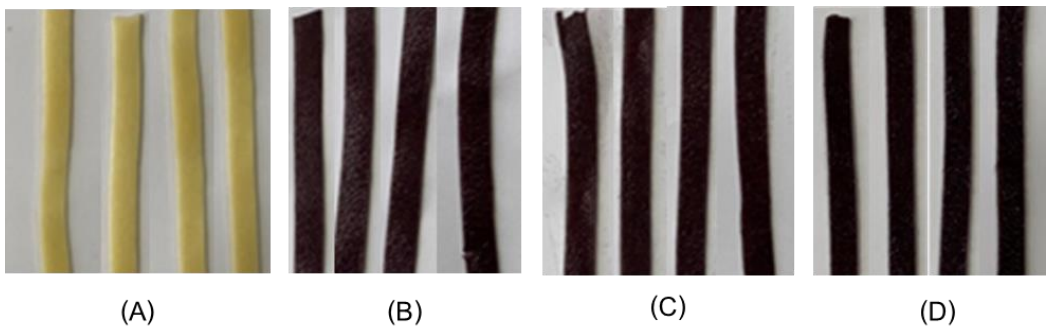


Figure 1. Image of cooked gluten-free pasta from glutinous rice flour and tapioca starch with different ratio: (A) Control, (B) 60:40, (C) 70:30, and (D) 80:20.

Table 2 Cooking quality of free gluten pasta with black glutinous rice flour and tapioca starch

Sample	Cooking time (min)	Cooking losses (%)	Volume Expansion (%)
Control	6.32 ^a ± 0.0	3.34 ^d ± 0.03	111.01 ^a ± 1.47
60:40	6.02 ^b ± 0.03	3.94 ^c ± 0.03	110.52 ^b ± 0.87
70:30	5.55 ^c ± 0.05	4.45 ^b ± 0.03	107.21 ^c ± 1.96
80:20	5.32 ^d ± 0.02	6.59 ^a ± 0.04	104.30 ^d ± 1.13

Different letters in the same column indicate significant difference ($p < 0.05$).

2. ค่าสีของพาสต้าปราศจากกลูเตน

อัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวดำต่อแป้งมันสำปะหลังมีผลต่อค่าสีและลักษณะปรากฏของตัวอย่างพาสต้าดังแสดงใน Table 3 และ Figure 1 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงค่าสีของตัวอย่างพาสต้าที่ต้มสุกแล้วมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำที่เติมลงในพาสต้าเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังแป้งสุกจะไม่มีสีจึงไม่ส่งผลต่อสีที่เข้มขึ้นของพาสต้าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม จากผลการทดลองพบว่าค่าความสว่าง (L^*) และค่าเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ลดลงในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้น การเติมแป้งข้าวเหนียวดำทำให้ความสว่างของตัวอย่างพาสต้าโดยเฉลี่ยลดลงจาก 36.91 ที่อัตราส่วนร้อยละ 60:40 ไปจนถึง 33.38 ที่ระดับอัตราส่วน 80:20 (Table 3) ผลการทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมด้วยแป้งข้าวเหนียวดำมีผลกระทบต่อความสว่างและความเหลืองของพาสต้าอย่างชัดเจน

เมื่อระดับแป้งข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้น ข้าวสีกามีปริมาณแอนโทไซยานินสูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาวและข้าวแดง ทำให้ข้าวสีกากลายเป็นแหล่งของสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สีดำของข้าวสีกาพบได้ไม่เพียงแต่ในเปลือกนอกเท่านั้น แต่ยังพบในเมล็ด, ลำต้น และใบด้วย ในข้าวสีกาบางประเภทสีดาจะพบเฉพาะในชั้นอะลูโรน (Aleurone) หรือชั้นนอกของเมล็ดข้าว¹⁶ ดังนั้นความเข้มของสีของพาสต้าจึงเกิดจากการเติมแป้งข้าวเหนียวที่มีสีของสารแอนโทไซยานินจึงส่งผลให้มีความสว่างในพาสต้าลดลงจากการเติมแป้งข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Subanmanee and other¹³ ในเส้นพาสต้าที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ และ Sethi and other²⁷ ในการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนจากรำข้าว ที่ได้รายงานว่าการเติมแป้งรำข้าวหรือแป้งที่มีสีเข้มจะทำให้ค่า L^* ลดลงและส่งผลต่อสีโดยรวมของตัวอย่างพาสต้าปราศจากกลูเตน

Table 3 Color index of free gluten pasta with black glutinous rice flour and tapioca starch

Color values	Formulation (%Ratio of black glutinous rice flour and cassava starch)			
	Control	60:40	70:30	80:20
Lightness (L^*)	78.46 ^a ±0.37	36.96 ^b ±0.54	34.48 ^c ±0.18	33.38 ^d ±0.45
Redness (a^*)	-1.55 ^c ±0.13	7.51 ^b ±0.68	9.64 ^a ±0.29	8.10 ^b ±0.51
Yellowness (b^*)	18.03 ^a ±0.44	2.11 ^b ±0.06	1.17 ^b ±0.21	1.08 ^b ±0.14

Different letters in the same row indicate significant difference ($p < 0.05$).

3. ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าปราศจากกลูเตน

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสแสดงใน Table 4 พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการยึดติด (Adhesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) สูงกว่าพาสต้าปราศจากกลูเตนทั้ง 3 สูตร ในขณะที่ค่าพลังงานที่ทำให้อาหารแตก (Gumminess) ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบผลลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำและลดแป้งมันสำปะหลังจะทำให้พาสต้าปราศจากกลูเตนแสดงแนวโน้มของค่าความแข็ง ค่าการยึดติด ค่าความยืดหยุ่น ค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว และค่าพลังงานที่ทำให้อาหารแตกลดลง และพาสต้าสูตรที่ใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังที่ร้อยละ 70:30 มีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด โดยเฉพาะมีค่าความแข็งไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากสูตรควบคุม

ค่าความแข็ง (Hardness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ของสูตรควบคุมมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นเป็นผลจากกลูเตนในแป้งสาลีที่ทำให้โครงสร้างพาสต้ามีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น ซึ่งในพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังที่มีการเติมแทนแทนร้อยละ 3 มีส่วนช่วยปรับปรุงความแข็งและความยืดหยุ่นของเส้นพาสต้าให้ใกล้เคียงกับพาสต้าสูตรควบคุมได้จากรายงานของ Singh and others²⁸ แสดงให้เห็นว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมด้วยแป้งถั่วเขียวร่วมกับข้าวโพดและแทนแทนก็มีผลสูญเสียระหว่างการหุงต้มต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเส้นที่ไม่ได้เติมแทน

ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสและไฮโดรคอลลอยด์ และกัมช่วยเพิ่มความสามารถของเม็ดแป้งถั่วเขียวและข้าวโพดในการพองตัวซึ่งอาจเกิดจากการยับยั้งการรั่วไหลของส่วนประกอบแป้งในระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชัน ส่วนค่าการยึดติด (Adhesiveness) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งข้าวเหนียวดำสูงและแป้งมันสำปะหลังต่ำในสูตร 80:20 อาจเป็นเพราะแป้งข้าวเหนียวที่มีอะมิโลสต่ำสามารถเกิดเจลาติไนเซชันได้ง่ายและต้องการพลังงานน้อยกว่าแป้งที่มีอะมิโลสสูง²¹ จึงอาจส่งผลให้เห็นพาสต้าสุกมากกว่าพาสต้าสูตรอื่น เม็ดแป้งมีการพองตัวมากและแตกเสียหายให้เกิดการสูญเสียแป้งบางส่วนออกไปยังบริเวณผิวของพาสต้าและในน้ำที่ใช้ต้มเส้นจึงอาจเกิดความเหนียวติดกันมากกว่าสูตรอื่น สำหรับค่าพลังงานที่ทำให้อาหารแตก (Gumminess) คือปริมาณแรงที่จำเป็นในการเคี้ยวอาหารแข็งในกิจกรรมการบดให้แตก และค่า Chewiness เป็นการคำนวณจากค่าความแข็ง (Hardness) การยึดติด (Adhesiveness) และความยืดหยุ่น (Elasticity) ส่วนค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) คำนวณโดยนำค่าความแข็ง (Hardness) คูณด้วยค่าความเหนียวแน่น (Cohesiveness) ซึ่งแสดงเป็นแรงที่ใช้ในการบีบอัดอาหารเพื่อให้สามารถกลืนได้²⁹ จากนิยามของทั้งสองพารามิเตอร์ที่กล่าวมานี้บ่งชี้ว่าพาสต้าปราศจากกลูเตนทั้ง 3 สูตร ใช้แรงในการการเคี้ยวสำหรับการกลืนน้อยกว่าสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งของพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังที่มีความแข็งน้อยมีค่าความยืดหยุ่นต่ำกว่าสูตรควบคุมจึงใช้แรงในการบดเคี้ยวน้อยกว่า

Table 4 Texture profile analysis of cooked free gluten pasta with black glutinous rice flour and tapioca starch

Texture attributes	Formulation (%Ratio of black glutinous rice flour and cassava starch)			
	Control	60:40	70:30	80:20
Hardness (g)	23.52 ^a ±2.78	21.87 ^b ±2.11b	22.12 ^{ab} ±1.85a	20.68 ^b ±1.52
Adhesiveness (g.J)	-50.23 ^a ±23.31	-104.55 ^b ±17.51b	-146.68 ^c ±26.39	-185.48 ^d ±50.11
Springiness (%)	93.44 ^a ±7.20	72.09 ^{bc} ±3.46bc	79.72 ^b ±3.42	68.04 ^c ±11.56
Gumminess (g)	19.29 ^a ±1.38	18.14 ^a ±1.74a	18.01 ^a ±2.48	16.60 ^b ±1.38
Chewiness (m.J)	15.52 ^a ±1.85	13.66 ^{ab} ±1.75ab	14.05 ^b ±2.20	11.15 ^c ±2.67

Different letters in the same line indicate significant difference (p<0.05).

4. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการทราบถึงการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ (n = 50) โดยเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังกับพาสต้าสูตรดั้งเดิมที่ผลิตด้วยแป้งสาลี การประเมินทางประสาทสัมผัสของพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังได้รับการวิเคราะห์ในด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) รสชาติ (Taste) เนื้อสัมผัส (Texture) และความชอบโดยรวม (Overall acceptability) (Table 4) ผลการประเมินพบว่าผู้ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนร้อยละ 70:30 ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุดในด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังเป็น

พาสต้าที่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลีในสูตรการผลิต และยังไม่มีวางจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ในตลาด อาจเป็นผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกที่โดดเด่นในกลุ่มผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์นี้มีสีม่วงเข้มจากธรรมชาติของข้าวเหนียวดำที่มีสารแอนโทไซยานินซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์และปลอดภัยอีกด้วยจึงให้คะแนนด้วยสีสูงกว่าสูตรควบคุม ในด้านกลิ่น จากผลการศึกษาของ Ajarayasiri และ Chaiseri³⁰ พบว่าข้าวเหนียวมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติที่เกิดจากสารประกอบให้กลิ่น ได้แก่ 2-acetyl-l-pyrroline, (E,E)-nona-2,4-dienal, 2,3-butanediol, 1-octen-3-ol และ 4-vinyl-2-methoxyphenol ที่สูงกว่าข้าวเหนียวสีขาวในทั้งข้าวสารและข้าวหุงสุก สารเหล่านี้ทำให้ผู้บริโภครู้สึกหอมและส่งผลต่อการรับรสหวานจึงอาจทำให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความสูงกว่าสูตรควบคุม แต่การเติมข้าวเหนียวดำในปริมาณมากเกินไปในสูตร 80:20 อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นแรงเกินไปทำให้ผู้ทดสอบไม่คุ้นเคยจึงให้

คะแนนต่ำกว่าสูตร 70:30 ในการทดลองพาสต้าปราศจากประกอบด้วยกัมแซนแทนและแป้งมันสำปะหลังเพื่อปรับปรุงให้เส้นพาสต้ามีความยืดหยุ่นทดแทนโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลี แต่ลักษณะเส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวดำและ

แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะที่อ่อนนุ่ม เส้นขาดง่ายกว่าสูตรควบคุม และมีความเหนียวติดกันเล็กน้อยจึงส่งผลได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและคะแนนความชอบโดยรวมต่ำกว่าสูตรควบคุมเล็กน้อย

Table 5 Sensory attributes of cooked free gluten pasta with black glutinous rice flour and tapioca starch

Sensory attributes	Formulation (%Ratio of black glutinous rice flour and cassava starch)			
	Control	60:40	70:30	80:20
Appearance	6.64 ^a ±0.48	6.32 ^b ±0.59	6.58 ^a ±0.50	6.22 ^b ±0.62
Color	6.28 ^b ±0.70	6.22 ^b ±0.82	7.04 ^a ±0.73	6.52 ^b ±0.61
Odor	6.66 ^a ±0.48	5.88 ^c ±0.77	6.12 ^{bc} ±0.56	6.20 ^b ±0.78
Taste	6.50 ^a ±0.51	5.62 ^c ±0.70	6.39 ^a ±0.71	5.92 ^b ±0.66
Texture	6.86 ^a ±0.64	5.32 ^c ±0.47	5.90 ^b ±0.49	5.36 ^c ±0.48
Overall acceptability	7.16 ^a ± 0.55	6.48 ^c ±0.50	6.94 ^b ±0.48	6.56 ^c ±0.50

Different letters in the same line indicate significant difference ($p < 0.05$).

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพพาสต้าปราศจากกลูเตนที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าการเพิ่มปริมาณของแป้งข้าวเหนียวดำในสูตรพาสต้าปราศจากกลูเตนส่งผลให้ลดเวลาการต้มสุกและค่าการขยายตัวของเส้นพาสต้าแต่เพิ่มความแข็งของเส้นพาสต้าเนื่องจากแอนโทไซยานินในแป้งข้าวเหนียวดำ ในด้านเนื้อสัมผัส การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำและลดแป้งมันสำปะหลังในการผลิตเส้นพาสต้าส่งผลให้ค่าความแข็ง ค่าการยืดติด ค่าความยืดหยุ่น และค่าแรงที่ใช้ในการบิดให้อาหารแตก ในขณะที่ค่าแรงที่ใช้ในการบิดเคี้ยวอาหารลดลง ซึ่งการเติม

แซนแทนกัมช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงสูตรควบคุม การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตรพาสต้าที่ใช้แป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังสัดส่วน 70:30 ได้คะแนนใกล้เคียงสูตรควบคุมโดยอาจเป็นเพราะสีม่วงเข้มและกลิ่นหอมของข้าวข้าวเหนียวดำตามธรรมชาติ จากการศึกษาพาสต้าปราศจากข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังควรมีการปรับปรุงในส่วนคุณภาพของการสุกเพื่อลดการสูญเสียขณะต้มและปรุงปรุงเนื้อสัมผัสให้ใกล้เคียงสูตรที่ใช้แป้งสาลี โดยอาจเสริมโปรตีนหรือการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเส้นพาสต้าให้ดีขึ้น



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนสิ่งอำนวยความสะดวก รวมถึงห้องปฏิบัติการในการทำวิจัยจากคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เอกสารอ้างอิง

1. Jiamyangyuen S, Nuengchamnonng N, Ngamdee P. Changes of anthocyanins in black rice flours prepared by cooking and pregelatinization. *CMU J Nat Sci* 2019;18:534-52.
2. He J, Giusti MM. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annu Rev Food Sci Technol* 2010;1:163-87.
3. Massaretto IL, Meza SLR, Sinnecker P, Schmieles M, Noldin JA, Wickert E, et al. Chemical, nutritional and sensory profiles of different pigmented rice varieties impacted by cooking process. *Res Soc Dev* 2022;11:e24411931799.
4. Purwadi R, Teguh CF, Mazaya D. Fermented cassava as an alternative flour for pasta noodle. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 16-17 Nov 2020; Bandung. Indonesia: IOP Publishing; 2021. p. 012042.

5. อรอนงค์ นัยวิกุล. ข้าวสาลี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2540.
6. Marti A, Caramanico R, Bottega G, Pagani MA. Cooking behavior of rice pasta: Effect of thermal treatments and extrusion conditions. *LWT* 2013;54:229-35.
7. Marti A, Pagani MA, Seetharaman K. Understanding starch organisation in gluten-free pasta from rice flour. *Carbohydr Polym* 2011;84:1069-74.
8. ศุภศิษฏ์ มาแสง, จารีย์ กระแสบัว, สุพัตรา จันทา, จีระนันท์ วงศ์พิชญ์. การศึกษาคุณภาพพาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเหนียวและแป้งถั่วเขียว. *วารสารคหกรรมศาสตร์และพัฒนารวมอย่างยั่งยืน*. 2566;5:1-16.
9. Makdoud S, Rosentrater K. Development and testing of gluten-free pasta based on rice, quinoa and amaranth flours. *J Food Res* 2017;6:91-110.
10. Sugiyama K, Matsumoto D, Sakai Y, Inui T, Tarukawa C, Yamada M. Development of gluten-free rice flour noodles that suit the tastes of Japanese people. *Foods* 2022;11:1321.
11. Dib A, Wójtowicz A, Benatallah L, Zidoune MN, Mitrus M, Sujak A. Optimization of rice-field bean gluten-free pasta improved by the addition of

- hydrothermally treated rice flour. *IJFS* 2018;30:226-48.
12. Milde LB, Rivero DA, Chigal PS, Zubreski E, Chade M, Brumovsky LA. Changes in the physical, textural and chemical properties of the enriched pasta elaborated with cassava starch. *Int J Gastron Food Sci* 2021;25:100396.
13. Subanmanee N, Sarasuk C, Wongtom R, Khampaen W. Changes in the Physical, Chemical and Sensory Properties of Pasta Made by Partially Substituting Wheat Flour with Black Glutinous Rice Flour. *AJFAND* 2024;24:24138-60.
14. American association of cereal chemists. Approved methods of the AACC. Methods 66-50.01. St. Paul. 1999
15. Wichchukita S, O'Mahony M. The 9 -point hedonic scale and hedonic ranking in food science: some reappraisals and alternatives. *J Sci Food Agric* 2015;95:2167-78.
16. Kong S, Kim DJ, Oh SK, Choi IS, Jeong HS, Lee J. Black rice bran as an ingredient in noodles: Chemical and functional evaluation. *J Food Sci* 2012;77:C303-7.
17. Piwińska M, Wyrwicz J, Kurek MA, Wierzbicka A. Effect of drying methods on the physical properties of durum wheat pasta. *CyTA J Food* 2016;14:523-28.
18. Qiu S, Abbaspourrad A, Padilla-Zakour OI. Changes in the glutinous rice grain and physicochemical properties of its starch upon moderate treatment with pulsed electric field. *Foods* 2021;10:395.
19. Charles AL, Chang YH, Ko WC, Sriroth K, Huang TC. Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. *J Agric Food Chem* 2005;53:2717-25.
20. Cornejo-Ramírez YI, Martínez-Cruz O, Del Toro-Sánchez CL, Wong-Corral FJ, Borboa-Flores J, Cinco-Moroyoqui FJ. The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA J Food* 218;16:1003-17.
21. Kemashalini K, Prasantha BR, Chandrasiri KAKL. Physico-chemical properties of high and low amylose rice flour. *AFSE* 2018;2:115-24.
22. Alamprese C, Casiraghi E, Pagani MA. Development of gluten-free fresh egg pasta analogues containing buckwheat. *Eur Food Res Technol* 2007;22:205-13.
23. Kaur A, Shevkani K, Singh N, Sharma P, Kaur S. Effect of guar gum and xanthan gum on pasting and noodle-making



- properties of potato, corn and mung bean starches. *J Food Sci Technol* 2015;52:8113-21.
24. Sinthuja R, Prasantha BR, Hettiarachchi A. Comparative study of grain quality characteristics of some selected traditional and improved rice varieties in Sri Lanka: a review. *SLJFA* 2021;7:13-30.
25. Kim JM, Song JY, Shin M. Physicochemical properties of high amylose rice starches purified from Korean cultivars. *Starch-Stärke* 2010;62:262-8.
26. Faruq G, Prodhan ZH, Nezhadahmadi A. Effects of ageing on selected cooking quality parameters of rice. *Int J Food Prop* 2015;18:922-33.
27. Sethi S, Nanda SK, Bala M. Quality assessment of pasta enriched with anthocyanin-rich black rice bran. *J Food Process Preserv* 2020;44:1-12.
28. Singh N, Singh J, Sodhi NS. Morphological, thermal, rheological and noodle-making properties of potato and corn starch. *J Sci Food Agric* 2002;82:1376-83.
29. Szczesniak AS. Texture is a sensory property. *Food Qual Prefer* 2002;13:215-25.
30. Ajarayasiri J, Chaiseri S. Comparative study on aroma-active compounds in Thai, black and white glutinous rice varieties. *Agric Nat Resour* 2008;42:715-22.

ฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดส ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารพฤกษเคมีของรากสิบสองราศี

Alpha-Glucosidase Inhibitory Activity, Antioxidant Activity, and Phytochemical Content of *Launaea sarmentosa* root.

วัชรภรณ์ ประภาสโนบล*, พิชิต สุดตา และปัทมาพร ยอดสันติ

Vatcharaporn Prapasanobol*, Pichit Sudta and Pattamaporn Yodsanti

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author, E-mail: vatcharaporn.pra@mail.pbru.ac.th

Received: 19 February 2025 /Revised: 04 April 2025 /Accepted: 04 April 2025

บทคัดย่อ

โรคเบาหวานเป็นปัญหาที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การศึกษาเพื่อประเมินฤทธิ์ต้านเบาหวานและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของรากสิบสองราศี จึงเป็นแนวทางในการพัฒนายาจากธรรมชาติที่ปลอดภัย การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดส ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีของสารสกัดเอทานอลจากรากสิบสองราศี เก็บตัวอย่างรากสิบสองราศีจากตำบลบางครก อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เตรียมสารสกัดรากสิบสองราศีด้วยตัวทำละลายเอทานอลด้วยวิธีการแช่หมัก และนำสารสกัดมาทดสอบฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดสโดยใช้วิธี colorimetric assay ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และหาปริมาณสารพฤกษเคมีบางชนิด ได้แก่ สารฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric สารฟลาโวนอยด์รวมด้วยวิธี Aluminium chloride และหาปริมาณแอลคาลอยด์รวมใช้วิธี Bromocresol Green method

ผลการวิจัยพบว่าสารสกัดเอทานอลของรากสิบสองราศีมีฤทธิ์ในการต้านเอนไซม์มอลเทสและซูเคสที่ค่า IC_{50} เท่ากับ 0.35 และ 0.34 mg/ml ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระคิดเป็นร้อยละ 64.97 ± 0.34 เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมี พบว่า ปริมาณฟีนอลิกรวม เท่ากับ 13.512 ± 0.214 mgGAE/g สารสกัด ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 238.231 ± 2.019 mgQE/g สารสกัด และปริมาณแอลคาลอยด์รวมเท่ากับ 0.411 ± 0.039 mg AE/g สารสกัด ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการหาชนิดของสารสำคัญจากรากสิบสองราศีเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางยาและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมได้

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดส ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารพฤกษเคมี สิบสองราศี

Abstract

Diabetes is a growing global health concern. Inhibition of α -glucosidase is a key mechanism for controlling blood glucose levels. The study of the antidiabetic and antioxidant activities of *Launaea sarmentosa* root is therefore a promising approach for the development of safe natural medicines. This study aimed to investigate the α -glucosidase inhibitory activity, antioxidant activity, and phytochemical content of the ethanol extract from *Launaea sarmentosa* roots. Root samples were collected from Bang Khrok Subdistrict, Ban Laem District, Phetchaburi Province. The extract was prepared using ethanol maceration and tested for α -glucosidase inhibition using a colorimetric assay, antioxidant activity using the DPPH assay, and phytochemical quantification, including total phenolics (Folin-Ciocalteu), total flavonoids (AlCl₃), and total alkaloids (Bromocresol Green).

Results showed IC₅₀ values of 0.35 and 0.34 mg/ml for maltase and sucrase inhibition, respectively. The extract exhibited 64.97 $\pm$ 0.34% antioxidant activity. Phytochemical analysis revealed total phenolic content of 13.512 $\pm$ 0.214 mg GAE/g extract, total flavonoid content of 238.231 $\pm$ 2.019 mg QE/g extract, and total alkaloid content of 0.411 $\pm$ 0.039 mg AE/g extract. The findings of this study can serve as preliminary data for identifying the active compounds in the roots of *L.sarmentosa* for potential applications in pharmaceuticals and dietary supplements.

Keywords: Alpha-Glucosidase Inhibitory, Antioxidant Activity, Phytochemical Content, *Launaea sarmentosa*

บทนำ

โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes) เป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของการผลิตและการใช้สารอินซูลินในร่างกาย ซึ่งส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ การเกิดโรคนี้ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากปัจจัยทางพันธุกรรมและการดำเนินชีวิต เช่น การบริโภคอาหารที่มีน้ำตาลและไขมันสูง ขาดการออกกำลังกาย และมีน้ำหนักเกินหรืออ้วน ทำให้เซลล์ในร่างกายไม่สามารถใช้สารอินซูลินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ภาวะดื้อต่ออินซูลิน) หรือไม่สามารถผลิตอินซูลินได้อย่างเพียงพอ^{1,2}

โรคเบาหวานชนิดที่ 2 เป็นปัญหาสาธารณสุขทั่วโลก โดยมีผู้ป่วยมากกว่า 537 ล้านคนทั่วโลกในปี 2021 และคาดว่าจะในปี 2030 จะมีผู้ป่วยเพิ่มขึ้นเป็น 643 ล้านคน และในปี 2045 คาดว่าจะมีผู้ป่วยถึง 783 ล้านคน โดยมากกว่า 90% ของผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2³ ขณะที่ในประเทศไทยจำนวนผู้ป่วยเบาหวานทั้งหมดในปี 2022 มีจำนวนถึง 3.3 ล้านคน โดยมีผู้ป่วยใหม่ประมาณ 300,000 รายต่อปี⁴ การทดสอบฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดส (α -Glucosidase) ในพืชมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสมีบทบาทใน

การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด การยับยั้งเอนไซม์นี้จึงเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมโรคเบาหวาน ชนิดที่ 2⁵ มีการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดจากพืชสมุนไพร เช่น มะระขี้นก (*Momordica charantia*) และอบเชย (*Cinnamomum spp.*) ซึ่งมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นสารต้านเบาหวานจากธรรมชาติ⁶ ตัวอย่างพืชในประเทศไทย เช่น พ้าทะลายใจ (*Andrographis paniculata*) และ ใบหม่อน (*Morus alba*) ที่พบว่ามียูทริยบินแอลฟาไกลูโคซิเดสได้อย่างมีนัยสำคัญ⁷ การศึกษาฤทธิ์นี้มีความสำคัญไม่เพียงแต่ในเชิงเภสัชวิทยา แต่ยังช่วยส่งเสริมการใช้สมุนไพรท้องถิ่นและลดการพึ่งพายาแผนปัจจุบันที่อาจมีผลข้างเคียง เช่น อะคาโบส (*Acarbose*) ที่ก่อให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหาร⁸ หากมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องจะช่วยเพิ่มโอกาสการใช้พืชเป็นทางเลือกในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้อย่างยั่งยืน

การค้นพบสารออกฤทธิ์จากพืชสมุนไพรไทย เช่น สารฟลาโวนอยด์และโพลีฟีนอล ไม่เพียงแต่ช่วยลดผลข้างเคียงจากการใช้ยาเคมีสังเคราะห์ แต่ยังเป็นการส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของสมุนไพรไทย^{6,9,10} และการหาปริมาณสารพฤกษเคมีในพืชสมุนไพรมีความสำคัญต่อการศึกษาคูณสมบัติทางชีวภาพและประโยชน์ทางการแพทย์ ตัวอย่างสารพฤกษเคมีที่สำคัญ เช่น ฟลาโวนอยด์, แทนนิน, ไตรเทอร์พีนอยด์ และแอลคาลอยด์ เป็นสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถช่วยในการป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น โรคเบาหวาน, โรคมะเร็ง, และการอักเสบ ดังนั้น

การวิเคราะห์ปริมาณสารเหล่านี้จึงสามารถช่วยระบุชนิดของพืชที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นยาจากธรรมชาติ และสามารถส่งเสริมการใช้พืชสมุนไพรในอุตสาหกรรมยาหรืออาหารเสริมได้อย่างมีประสิทธิภาพ^{11,12} นอกจากนี้ยังเป็นการเปิดโอกาสให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรที่มีคุณภาพและปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค

ลิบสองราสี หรือ ผัก ลั่น ห่าน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Launaea sarmentosa* (*Launaea pinnatifida*) จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae หรือ Compositae พบในพื้นที่เขตร้อนและกึ่งเขตร้อน เช่น เอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงบางพื้นที่ในแอฟริกา มักพบในพื้นที่ชายฝั่งทะเลและบริเวณที่มีดินเค็มหรือดินทราย และพบกระจายพันธุ์ตามชายฝั่งทะเลทรายของอินเดีย ศรีลังกา มาเลเซีย แอฟริกาตะวันออก และเวียดนาม¹³ มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นพืชล้มลุกเลื้อยคลุมดิน เถาเลื้อยติดดิน มีใบรอบลำต้น ใบยืนยาว คล้ายลิ้น รอบขอบใบหยัก ปลายใบโค้งโดยจะแตกต้นอ่อนออกจากเถาซึ่งยื่นออกไป ระหว่างเถาจะมีใบห่างวางเป็นคู่ ใบยาวเฉลี่ยประมาณ 12-15 เซนติเมตร มีสีเขียวอ่อน ฐานใบแคบคล้ายเป็นก้านแต่ปลายแผ่บานออก มีรสมขมเล็กน้อยและมีกลิ่นเฉพาะตัว มีดอกเล็ก ๆ สีเหลืองคล้ายดอกในวงศ์ทานตะวัน ก้านดอกยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร ก้านดอกตั้งตรง มีฐานดอกหุ้ม กลีบดอกเป็นแฉก มี 8-10 กลีบ ส่วนรากของลิบสองราสี มีเซลล์แลคติเฟอร์รัส (lactiferous cells) มีช่องในผนังเซลล์ (pitted vessels) มีเส้นใยชนิดง่าย พบผลึกเกลือที่มีเลขอะตอม 20 ปริสุทธิ์ในส่วนเปลือกรากและศึกษาเบื้องต้นพบว่าประกอบด้วยแอลคาลอยด์

กรดอะมิโน ไกลโคไซด์ แทนนิน คาร์โบไฮเดรต และสเตียรอยด์^{14,15} มีสรรพคุณทางยาในบางพื้นที่ เช่น รักษาแผลหรือบรรเทาอาการอักเสบจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสารสกัดของสับสองราสีมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Candida* โดยมีสารสำคัญ เช่น β -amyrin, lupeol และ oxirane¹⁶ และยังแสดงฤทธิ์ในการสลายลิ่มเลือด โดยแสดงให้เห็นว่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกาะตัวของเลือดสูงทั้งนี้ฤทธิ์ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารสกัด¹⁷ อีกทั้งยังมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ โดยสารสกัดจากสับสองราสีมีผลในการลดการผลิตสารกระตุ้นการอักเสบและส่งเสริมการป้องกันการทำลายเซลล์¹⁸

องค์ประกอบทางเคมีและสารพิษเคมีของสับสองราสี พบว่าพืชสกุล *Launaea* จากพื้นที่ซาฮาราแอลจีเรีย มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอล ซึ่งเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ และยังพบว่าใบสับสองราสี มีองค์ประกอบทางเคมี เช่น แทนนิน สเตียรอยด์ และแป้ง ซึ่งมีความสำคัญทางเภสัชวิทยา โดยเฉพาะการต้านการอักเสบและการปกป้องเซลล์จากความเสียหายของอนุมูลอิสระ¹⁹ ส่วนการศึกษาฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อ *Candida* ในอินดิเคยพบว่าสับสองราสี มีสารพิษเคมีที่หลากหลาย เช่น แอลเคน, แอลดีไฮด์, เอสเทอร์, ฟีนอล และแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ นอกจากนี้ยังมีสารไตรเทอร์พีนอยด์ ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่แสดงฤทธิ์ทางชีวภาพได้ เช่น ฤทธิ์ต้านเชื้อราหรือเชื้อจุลินทรีย์ ยังพบว่าสับสองราสีมีประโยชน์ในแง่ของการนำไปใช้เป็นสมุนไพรเพื่อช่วยในระบบย่อยอาหาร รักษาโรคผิวหนัง และเป็นยา

ขับปัสสาวะ รวมถึงการใช้เพื่อรักษาอาการปวดศีรษะและนอนไม่หลับ (Herbpathy) ได้อีกด้วย¹⁶ ส่วนการศึกษาฤทธิ์ต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสและองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจาก ใบของพืชชนิดนี้ พบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมกับการตรวจพบสารพิษเคมี เช่น ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน และโพลีฟีนอลที่มีบทบาทในการต้านอนุมูลอิสระและสนับสนุนการยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าวได้²⁰ แต่ยังไม่พบการศึกษาฤทธิ์ต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากส่วนรากของสับสองราสี ซึ่งหากมีการค้นพบสารสำคัญในรากและส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น สารต้านการอักเสบและสารพิษเคมีที่สามารถช่วยในด้านการรักษาและพัฒนายาใหม่ ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และไตรเทอร์พีนอยด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีข้อมูลสนับสนุนว่าสารสกัดจากรากและใบของสับสองราสี ในหลายพื้นที่ มีศักยภาพในการป้องกันความเครียดออกซิเดชันหรือแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและการลดการอักเสบ รวมถึงประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับโรคเบาหวานอีกด้วย²⁰

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่ายังมีการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพจากรากสับสองราสีน้อยมาก และยังไม่มีการรายงานปริมาณสารพิษเคมีที่สำคัญที่เป็นองค์ประกอบในรากสับสองราสี ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาฤทธิ์ต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษเคมี ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และแอลคาลอยด์ ของสารสกัดจากรากสับสองราสี เพื่อที่จะสามารถช่วยระบุว่า

พืชชนิดนี้มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นยา ส่งเสริมการใช้พืชสมุนไพรในอุตสาหกรรมยาหรืออาหารเสริมได้และยังเป็นเพิ่มเปิดโอกาสให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรที่มีคุณภาพและปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคได้ต่อไป

วิธีการวิจัย

1. สารเคมีและเครื่องมือ

สารเคมีที่สำคัญ ได้แก่ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) BCG (Bromocresol Green) เควอซีทิน (quercetin) กรดแกลลิก (gallic acid) และอะโทรปีน (atropine) ซื้อจากบริษัท Sigma-Aldrich(USA) โซเดียม คาร์บอเนต (Na_2CO_3) โซเดียม ไนไตรท์ (NaNO_2) และอลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl_3) ซื้อจากบริษัท Univar (Australia) และตัวทำละลายทุกชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ (AR grade)

เครื่องมือที่ใช้ เช่น rotary evaporator (Buchi B-500, สวิตเซอร์แลนด์) เครื่อง UV-Visible spectrophotometer (Shimadzu UV-1601, ญี่ปุ่น)

2. การเตรียมสารสกัดจากรากสิบสองราศี

เก็บตัวอย่างรากสิบสองราศีในเดือนพฤษภาคม 2567 จากตำบลบางครก อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี และทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของพืช (ID113642) และเก็บรักษาตัวอย่างพืชไว้ที่สำนักหอพรรณไม้เลขที่ 61 ถนน พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร โดยนำรากสิบสองราศีสด 300 g ที่บดละเอียดมาสกัดด้วยวิธีการแช่หมักด้วยเอทานอล 95% เป็นเวลา 5 วัน กรองและนำส่วนที่เป็นสารละลายไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบลดความดันทำการสกัดซ้ำ 3 ครั้ง นำสารสกัดที่ได้แต่ละครั้งมา

รวมกันจะได้สารสกัดเอทานอล เก็บสารสกัดในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อนำไปใช้ในการวิจัยขั้นต่อไป โดยนำสารสกัดหยาบมาทดสอบฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดส และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลูโกลิเคมี ได้แก่ ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และแอลคาลอยด์

3. การทดสอบฤทธิ์ต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส

การทดสอบฤทธิ์ต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของพืชสมุนไพรนั้น การทดลองจะใช้วิธีการวิเคราะห์การยับยั้งของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสที่สกัดได้จากลำไส้เล็กของหนูโดยใช้วิธีการในหลอดทดลอง (*in vitro*)²¹ ทดสอบฤทธิ์ด้วยการนำสารสกัดของพืชมาวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านเอนไซม์ ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงและนำมาคำนวณเป็นร้อยละการต้านเอนไซม์ โดยเตรียมเอนไซม์มอลเตสและซูเครสจากสารสกัดเอนไซม์อย่างหยาบจากลำไส้เล็กของหนูเตรียมโดยชั่งเอนไซม์หยาบมา 1 g เติมน้ำละลายโซเดียมคลอไรด์ (0.9% NaCl) จำนวน 30 ml แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 rpm เป็นเวลา 30 นาที ดูดสารละลายส่วนบนไปหาความจำเพาะ (specific activity) ต่อซบัสเตรต (มอลโทสและซูโครส) ทุกครั้งก่อนการทดสอบการวิเคราะห์เตรียมตัวอย่างของสารสกัดที่ความเข้มข้น 1 mg/ml โดยละลายสารตัวอย่างใน DMSO จำนวน 10 μL เติมน้ำฟอสเฟต 0.1 M (pH 6.9) 30 μL และสารละลายซบัสเตรต (มอลโทส 2 mM; ซูโครส: 20 mM) 20 μL ใน 0.1 M ของบัฟเฟอร์ฟอสเฟตชุดทดสอบกลูโคส 80 μL และเติมน้ำละลายเอนไซม์ (มอลเตสและซูเครส) จำนวน 20 μL จากนั้นบ่มปฏิกิริยาเบื้องต้นเป็นเวลา 10 นาที

(สำหรับมอลโตส) และ 40 นาที (สำหรับซูโครส) ที่อุณหภูมิ 37 °C และหยุดการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของควิโนรีนินที่เกิดขึ้น (520 nm) โดยใช้เครื่องอ่านไมโครเพลท Bio-Red รุ่น 3550 UV และคำนวณหาร้อยละการต้านเอนไซม์ โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละการต้านเอนไซม์ (\%)} = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$$

เมื่อ A_0 คือค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่มีตัวอย่าง และ A_1 คือค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง และค่า IC_{50} ที่เป็นการวัดความเข้มข้นของสารสกัดที่มีร้อยละการต้านเอนไซม์เท่ากับ 50 โดยใช้ความเข้มข้นของอะคาร์โบส Acarbose® เป็นสารควบคุมเชิงบวก

4. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด โดยการทดสอบกับสารละลาย 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ที่มีความเข้มข้น 0.1 mM²² โดยใช้สารสกัดของรากสิบสองราศีความเข้มข้น 1 mg/ml 3 ml ผสมกับอนุมูล DPPH 3 ml ในสารละลายเอทานอล และนำของผสมบ่มในความมืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตรโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยใช้กรดแกลลิกเป็นตัวควบคุมเชิงบวก (positive control) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH คำนวณจากสูตร ดังนี้

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

$$\text{DPPH (\%)} = [(A-B)/A] \times 100$$

เมื่อ A คือการดูดกลืนแสงของตัวควบคุมเชิงลบ (DPPH ผสมกับเอทานอล) และ B คือการดูดกลืนแสงของDPPH ผสมกับสารตัวอย่าง

5. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมของสาร

สกัด ด้วยวิธี Folin Ciocalteu²³

โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสาร มาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0–20.00 mg/ml โดยผสมสารสกัดหรือสารมาตรฐาน ปริมาตร 0.05 ml ผสมกับ Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.25 ml และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (20% Na_2CO_3) จำนวน 0.25 ml เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 5 ml ผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm การวิเคราะห์สารตัวอย่างทำซ้ำ 3 ครั้ง

6. การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของ

สารสกัด ด้วยวิธี Aluminium chloride colorimetric method²⁴

นำสารสกัดความเข้มข้น 1 mg/ml มา 0.5 ml ผสมกับน้ำกลั่น 1 ml เติมสารละลายโซเดียมไนไตรต์ (5% (w/w) $NaNO_2$) ปริมาตร 0.15 ml ปล่อยทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นเติมสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ (10% $AlCl_3$) ปริมาตร 0.15 ml และปล่อยทิ้งไว้ 6 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (4% $NaOH$) ลงไปปริมาตร 2 ml ในสารผสมและเติมน้ำเพื่อปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 5 ml ผสมสารละลายให้เข้ากันและปล่อยไว้อีก 15 นาที ที่อุณหภูมิห้องและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 nm โดยมีแบลงค์เป็นสารละลายผสมที่เติมน้ำแทนสารสกัด โดยใช้เคอควิทิน (quercetin) เป็นสารมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0-300 mg/ml ปริมาณของฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดคำนวณจากกราฟมาตรฐานของ เคอควิทินและแสดงผลออกมาเป็นมิลลิกรัมสมมูลของเคอควิทินต่อกรัม

ค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกได้สมการเส้นตรงดังนี้ $y=0.007x+0.098$ ($R^2 = 0.990$) เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก แสดงผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (mgGAE/g สารสกัด) พบว่าปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดรากลิบสองราศี เท่ากับ 13.512 ± 0.214 mgGAE/g สารสกัด

5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม

ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดโดยวิธี Aluminium chloride colorimetric method ซึ่งใช้เคออลิทิน เป็นสารมาตรฐานที่ช่วงความเข้มข้น 0 – 300 mg/ml ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดคำนวณจากกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเคออลิทินได้สมการเส้นตรงดังนี้ $y=2063.1x-22.668$ ($R^2 = 0.992$) และแสดงผลออกมาเป็นมิลลิกรัมสมมูลของเคออลิทินต่อกรัมของสารสกัด (mgQE/g สารสกัด) พบปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดรากลิบสองราศี เท่ากับ 238.231 ± 2.019 mgQE/g สารสกัด

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอลคาลอยด์รวม

ปริมาณแอลคาลอยด์รวมของสารสกัดโดยใช้วิธีทำปฏิกิริยากับ Bromocresol Green โดยใช้อะโทรปีน (atropine) เป็นสารมาตรฐานที่ช่วงความเข้มข้น 0.2–1.20 mg/ml ปริมาณแอลคาลอยด์คำนวณจากกราฟมาตรฐานที่พลอตระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอะโทรปีนได้สมการเส้นตรงดังนี้ $y= 26.19+0.001$ ($R^2 = 0.992$) และแสดงผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของอะโทรปีนต่อกรัมของสาร

สกัด (mg AE/g สารสกัด) พบปริมาณแอลคาลอยด์รวมของสารสกัดรากลิบสองราศี เท่ากับ 0.411 ± 0.039 mg AE/g สารสกัด

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดส ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลักซ์เคมีของสารสกัดเอทานอลจากรากลิบสองราศี ซึ่งจากผลการศึกษาฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดสและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากรากลิบสองราศี แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่น่าสนใจ โดยเฉพาะฤทธิ์ต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ได้แก่ มอลเทสและซูเครส ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.35 และ 0.34 mg/ml ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารออกฤทธิ์ในรากลิบสองราศีอาจสามารถนำไปใช้เป็นสารต้านโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ เนื่องจากเอนไซม์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลกลูโคสในลำไส้เล็ก²⁶ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพืชสมุนไพรชนิดอื่น พบว่าสารสกัดจากรากลิบสองราศีมีฤทธิ์สูงกว่าสารสกัดจากรากหม่อน (*Morus alba*) ที่มีค่า IC_{50} อยู่ที่ 0.40 mg/ml²⁷ แสดงให้เห็นว่ารากลิบสองราศีมีศักยภาพสูงในการเป็นสารต้านเบาหวาน นอกจากนี้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรากลิบสองราศีที่วัดโดยวิธี DPPH มีค่า $64.97 \pm 0.34\%$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพืชสมุนไพรอื่นอย่างสารสกัดจากรากชะเอม (*Glycyrrhiza glabra*) ซึ่งมีค่าการยับยั้ง DPPH ประมาณ 59.2%²⁸ และสารสกัดจากรากขมิ้นชัน (*Curcuma longa*) ที่มีค่าการยับยั้ง DPPH ประมาณ 67.8%²⁹ พบว่าสารสกัดจากราก

ลีสบองราสีมีฤทธิ์ใกล้เคียงกับขมิ้นชัน ซึ่งเป็นสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และการที่สารสกัดจากรากลีสบองราสีแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีนั้นมีความสอดคล้องกับปริมาณสารฟลักซ์เคมีที่พบในสารสกัด ได้แก่ ปริมาณฟีนอลิกรวม 13.512 ± 0.214 mgGAE/g สารสกัด ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม 238.231 ± 2.019 mgQE/g สารสกัด และปริมาณแอลคาลอยด์รวม 0.411 ± 0.039 mg AE/g สารสกัด โดยพบว่าสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของเซลล์ ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงชะลอความเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย³⁰ นอกจากนี้แอลคาลอยด์ยังเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีศักยภาพในด้านเภสัชกรรม เช่น ฤทธิ์ต้านจุลชีพ ต้านมะเร็ง และลดระดับน้ำตาลในเลือด³¹ ดังนั้นปริมาณสารฟลักซ์เคมีที่สูงในรากลีสบองราสีจึงอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมฤทธิ์ดังกล่าว เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาเปรียบเทียบกับพืชสมุนไพรอื่น พบว่ารากลีสบองราสีมีศักยภาพสูงในการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับโรคเบาหวานและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ต่อยอดในอุตสาหกรรมยาและอาหารเสริมเพื่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและป้องกันภาวะความเครียดออกซิเดชันได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาต่อไปในระดับเซลล์และสัตว์ทดลองเพื่อยืนยันกลไกการออกฤทธิ์และความปลอดภัยของสารสกัดนี้ ก่อนนำไปใช้ในมนุษย์

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านแอลฟาไกลูโคซิเดส สารสกัดเอทานอลของรากลีสบองราสีโดยใช้วิธี colorimetric assay พบว่า สารสกัดเอทานอลของรากลีสบองราสีมีฤทธิ์ในการต้านเอนไซม์มอลเทส และซูเคส ที่ค่า IC_{50} เท่ากับ 0.35 และ 0.34 mg/ml ตามลำดับ แต่มีความสามารถในการต้านเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ต่ำกว่าสารมาตรฐานอะคาร์โบส และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระคิดเป็นร้อยละ 64.97 ± 0.34 จากการศึกษาด้วยวิธี DPPH assay และปริมาณสารฟลักซ์เคมีของสารสกัดรากลีสบองราสี พบว่า ปริมาณฟีนอลิกรวม เท่ากับ 13.512 ± 0.214 mgGAE/g สารสกัด ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 238.231 ± 2.019 mgQE/g สารสกัด และปริมาณแอลคาลอยด์รวมเท่ากับ 0.411 ± 0.039 mg AE/g สารสกัด ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการหาชนิดของสารสำคัญจากรากลีสบองราสีเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เชื้อเพื่อสถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือและให้โอกาสในการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. International Diabetes Federation. Diabetes facts and figures [Internet]. 2021 [cited 2025 Jan 28]. Available from: <https://idf.org>

2. World Health Organization. Global report on diabetes. Geneva: World Health Organization; 2022.
3. International Diabetes Federation. Diabetes facts and figures show the growing global burden for individuals, families, and countries. IDF Diabetes Atlas [Internet]. 2021 [cited 2025 Jan 28]. Available from: <https://idf.org/about-diabetes/diabetes-facts-figures/>
4. Thailand faces diabetes crisis as new cases per year cross 300,000 mark [Internet]. 2025 [cited 2025 Jan 28]. Available from: <https://www.nationthailand.com/thailand/general/40032838>
5. Ota A, Ulrich NP. α -Glucosidase inhibitors from the natural sources and their beneficial effects on human health. *Curr Top Med Chem* 2017;17:411-31.
6. Tundis R, Loizzo MR, Menichini F. Natural products as α -glucosidase and α -amylase inhibitors and their hypoglycemic potential in the treatment of diabetes: An update. *Mini Rev Med Chem* 2010;10:315-31.
7. Sriplang K, Adisakwattana S, Rungsipipat A, Yibchok-Anun S. Effects of *Morus alba* on plasma glucose and lipid profiles in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *Phytother Res* 2007;21:396-400.
8. Kawamura-Konishi Y, Watanabe N, Saito M, Nakajima N, Sakaki T, Katayama T. Food-derived polyphenols as potential α -glucosidase inhibitors. *J Agric Food Chem* 2014;62:8932-8.
9. Kooti W, Farokhipour M, Asadzadeh Z, Ashtary-Larky D, Asadi-Samani M. The role of medicinal plants in the treatment of diabetes: A systematic review. *Electron Physician* 2016;8:1832-42.
10. Xu Y, Gu Y, Zhang C. Advances on the bioactivity, chemical composition, and utilization of α -glucosidase inhibitors. *Food Chem* 2021;347:128930.
11. Basile A, Santoro R, Cione E. Phytochemical composition and bioactivity of medicinal plants: A review. *Nat Prod Res* 2018;32:1824-34.
12. Khanna K, Thakur M, Sharma M. Phytochemical analysis and medicinal properties of some Indian medicinal plants. *Int J Pharmacogn Phytochem Res* 2020;12:137-44.
13. Le Thi Them L, Dung PTN, Trinh PTN, Hung QT, Vi LNT, Tuan NT, et al. Saponin, polyphenol, flavonoid content and α -glucosidase inhibitory activity, antioxidant potential of *Launaea sarmentosa* leaves grown in Ben Tre province, Vietnam. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2019;542:012036.
14. Sannigrahi S, Mazumder UK, Pal D, Mishra ML, Maity S. Flavonoids of

ของสารสกัด (mg QE/g extract) การวิเคราะห์สารตัวอย่างทำซ้ำ 3 ครั้ง

7. การวิเคราะห์ปริมาณแอลคาลอยด์รวมของสารสกัด โดยใช้วิธีทำปฏิกิริยากับ Bromocresol Green²⁵

นำสารสกัด 1 mg มาละลายในกรดไฮโดรคลอริก (2N HCl) ปริมาตร 1 ml นำสารละลายที่ได้สกัดด้วยคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) 10 ml 3 ครั้ง ปรับ pH ของสารละลายให้เป็นกลางด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 N NaOH) และเติมสารละลายโบโรโมครีซอล กรีน (BCG) และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 4.7) อย่างละ 5 ml เขย่าสารผสมจนเกิดสารเชิงซ้อนและนำมาสกัดด้วยคลอโรฟอร์มปริมาตร 1, 2, 3 และ 4 ml รวมสารสกัดที่ได้ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 ml และปรับปริมาตรด้วยคลอโรฟอร์ม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 470 nm โดยใช้อะโทรปีน (atropine) เป็นสารมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0.2–1.20 mg/ml ปริมาณแอลคาลอยด์รวมคำนวณจากกราฟมาตรฐานของอะโทรปีนและแสดงผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของอะโทรปีนต่อกรัมของสารสกัด (mg AE/g extract) การวิเคราะห์สารตัวอย่างทำซ้ำ 3 ครั้ง

ผลการวิจัย

1. ปริมาณสารสกัดของรากสิบสองราศี

จากการนำรากสิบสองราศีสดจำนวน 300 g ที่เก็บจากตำบลบางครก อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรีมาสกัดด้วยเอทานอล 95% พบว่าได้สารสกัดมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเขียวเข้ม ปริมาณ 23.616 g (%w/w 7.872)

2. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านเอนไซม์แอลฟา กลูโคซิเดส

เมื่อนำสารสกัดของรากสิบสองราศีมาทดสอบฤทธิ์ต้านเอนไซม์แอลฟา กลูโคซิเดสโดยใช้อะคาร์โบสเป็นสารยับยั้งมาตรฐาน พบว่าสารสกัดมีความสามารถในการต้านเอนไซม์มอลเทสที่ค่า IC_{50} เท่ากับ 0.35 mg/ml และมีความสามารถในการต้านเอนไซม์ซูเครสที่ค่า IC_{50} เท่ากับ 0.34 mg/ml แต่มีความสามารถในการต้านเอนไซม์แอลฟา กลูโคซิเดสได้ต่ำกว่าสารยับยั้งมาตรฐานอะคาร์โบส (Table 1)

Table 1. *In vitro* α -glucosidase inhibitory of *Launaea sarmentosa* roots extract

Sample	α -glucosidase inhibitory activity (IC_{50})	
	Maltase	Sucrase
<i>Launaea sarmentosa</i> roots	0.35 (mg/ml)	0.34 (mg/ml)
Acarbose	0.00046(mg/ml)	0.00037(mg/ml)

3. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อนำสารสกัดของรากสิบสองราศีที่ความเข้มข้น 1 mg/ml มาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% Radical Scavenging) คิดเป็นร้อยละ 64.97 ± 0.34 และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่ากรดแกลลิกที่ความเข้มข้นเดียวกัน ที่พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าร้อยละ 95 และมีค่า IC_{50} เป็น 0.0021 mg/ml ($y=22.928x+1.626$, $R^2=0.994$)

4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม

การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก โดยวิธีของ Folin-Ciocalteu ใช้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 0–20.00 mg/ml เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm โดยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จากค่าการดูดกลืนแสงนำไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง



- Enhydra fluctuans exhibit analgesic and anti-inflammatory activity in different animal models. Pak J Pharm Sci 2011;24:369-75.
15. Salih Y, Harisha CR, Shukla VJ, Acharya R. Pharmacognostical evaluation of *Launaea sarmentosa* (Willd.) Schultz Bip. ex Kuntze root. AYU 2013;34:90-4.
16. Das S, Priyanka KR, Prabhu K, Vinayagam R, Rajaram R, Kang SG. Anticandidal properties of *Launaea sarmentosa* among the salt marsh plants collected from Palk Bay and the Gulf of Mannar coast, Southeastern India. Antibiotics 2024;13:748.
17. Moghal MMR, Millat MS, Hussain MS, Islam MR. Thrombolytic and membrane stabilizing activities of *Launaea sarmentosa*. Int J Pharmacogn 2016;3:354-8.
18. Nguyen TQ, Hong TT, Khang VT, Pham DT, Giao DH, Tran TTT, et al. Anti-inflammatory constituents isolated from *Launaea sarmentosa* against infection by LPS-stimulated macrophages. Rec Nat Prod 2024;18:663-73.
19. Gunde MC, Wani JS, Pethe AM. Pharmacognostic and phytochemical studies on leaves of *Launaea sarmentosa* (Willd.) Schultz-Bip. Ex Kuntze. Int J Ayurvedic Med 2022;13:759-63.
20. Them LE, Dung PTN, Trinh PTN, Hung QT, Vi LNT, Tuan NT. Saponin, polyphenol, flavonoid content and α -glucosidase inhibitory activity, antioxidant potential of *Launaea sarmentosa* leaves grown in Ben Tre province, Vietnam. IOP Conf Ser. 2019.
21. Ramadhan R, Phuwapraisirisan P. New arylalkanones from *Horsfieldia macrobotrys*, effective antidiabetic agents concomitantly inhibiting α -glucosidase and free radicals. Bioorg Med Chem Lett 2015;25:4529-33.
22. Karagozler AA, Erdag B, Emek YC, Uygun DA. Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechastata*. Food Chem 2008;111:400-7.
23. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods Enzymol 1999;299:152-78.
24. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. Determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chem 1999;6:555-9.
25. Fazel S, Hamidreza M, Rouhollah G, Mohammadreza V. Spectrophotometric determination of total alkaloids in some

- Iranian medicinal plants. *J Appl Hortic* 2010;12:69-70.
26. Zhang B, Deng Z, Ramdath DD, Tang Y, Chen PX, Liu R, et al. Phenolic profiles of ten oat varieties and their antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities. *Food Chem* 2020;315:126227.
27. Kim GN, Jang HD, Kim CI. Antioxidant capacity of *Morus alba* leaf extracts and their inhibitory effects on α -glucosidase. *J Med Plants Res* 2011;5:1652-8.
28. Chen W, Su H, Xu Y, Bao T, Zheng X. Protective effect of *Glycyrrhiza glabra* extract against oxidative stress-induced hepatotoxicity in rats. *J Funct Foods* 2016;27:500-7.
29. Mohana T, Athira K, Anu A. Antioxidant potential of *Curcuma longa* and its protective role against oxidative stress induced diseases. *Asian Pac J Trop Biomed* 2012;2:703-11.
30. Shahidi F, Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects-A review. *J Funct Foods* 2015;18:820-97.
31. Heinrich M, Mah J, Amirkia V. Alkaloids used as medicines: Structural phytochemistry meets biodiversity-An update and forward look. *Molecules* 2021;26:1836.

ผลของการใช้แป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์สโคน

The Effect of Dioscorea Starch and Pigeon Pea Milk Fortification on the Acceptance of Scones

จรรยา ทัศนาบุตร*, สังวาลย์ ชมภูจา, ราตรี เมฆวิลัย, วิชชุดา ปรากุล, เสาวลักษณ์ ดวงใจ

Janya Thonabut*, Sungwan Chompuja, Ratree Mekwilai, Witchulada Prakul, Saowaluk Doungjai

โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษา ลำปาง

School of Culinary Arts, Suan Dusit University, Lampang Center

*Corresponding author; E-mail: Janya_tho@dusit.ac.th

Received: 22 November 2024 /Revised: 16 May 2025 /Accepted: 16 May 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์สโคน 2) ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้แป้งกลอยทดแทนแป้งสาลี (10, 20 และ 30%) ในสโคน 3) ศึกษาการทดแทนนมวัวด้วยน้ำมันถั่วมะแฮ (25, 50 และ 100%) ในสโคนเสริมแป้งกลอย และ 4) วิเคราะห์สารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์สโคนและสโคนเสริมแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮ ผลการวิจัยพบว่าผู้บริโภคนิยมสโคนที่ปรับปรุงสูตรให้ตรงกับความ ต้องการด้านสุขภาพ และใช้วัตถุดิบท้องถิ่น สัดส่วนแป้งกลอยที่เหมาะสมที่สุดในการเสริมในสโคนคือ 20% โดยได้คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านสี 7.87 กลิ่น 7.47 เนื้อสัมผัส 7.47 รสชาติ 7.63 และการยอมรับ โดยรวม 8.00 ส่วนการทดแทนน้ำมันถั่วมะแฮพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมคือ 50 % โดยได้คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านสี 6.70 กลิ่น 6.90 เนื้อสัมผัส 7.20 รสชาติ 7.40 และการยอมรับโดยรวม 7.30 ผลการ วิเคราะห์พลังงานพบว่า สโคนสูตรควบคุมมีพลังงานประมาณ 352.33 กิโลแคลอรี ขณะที่สโคนแป้งกลอยและ น้ำมันถั่วมะแฮมีพลังงานประมาณ 272.06 กิโลแคลอรี การพัฒนาสโคนสูตรลดพลังงานที่ยังคงคุณภาพและ รสชาติ ตอบโจทย์ตลาดที่ใส่ใจสุขภาพ และสนับสนุนการใช้วัตถุดิบท้องถิ่น ช่วยส่งเสริมสุขภาพผู้บริโภคและ เกษตรกรในชุมชน

คำสำคัญ: สโคน แป้งกลอย น้ำมันถั่วมะแฮ คุณภาพทางประสาทสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภค

Abstract

This research aimed to (1) investigate consumer behavior toward scone products, (2) determine the optimal substitution level of Dioscorea flour for wheat flour (10%, 20%, and 30%) in scones, (3) evaluate the replacement of cow's milk with pigeon pea milk (25%, 50%, and 100%) in scones containing Dioscorea flour, and (4) analyze the macronutrient composition of both standard and modified scones. The findings indicated that consumers preferred scones formulated with health-conscious ingredients and locally sourced materials. The most preferred substitution level of Dioscorea flour was 20%, which achieved high sensory scores for color (7.87), aroma (7.47), texture (7.47), taste (7.63), and overall acceptability (8.00). In terms of milk substitution, pigeon pea milk at 50% yielded the highest sensory acceptance scores: color (6.70), aroma (6.90), texture (7.20), taste (7.40), and overall acceptability (7.30). Nutritional analysis revealed that the control scone had approximately 352.33 kcal per 100 grams, while the scone with Dioscorea flour and pigeon pea milk had 272.06 kcal per 100 grams. This study demonstrates the potential to develop lower-calorie scones using functional and local plant-based ingredients while maintaining acceptable sensory quality, thus supporting health-conscious markets and local agricultural communities.

Keywords: scone, Dioscorea flour, pigeon pea milk, sensory quality, consumer acceptance

บทนำ

สโคน (Scone) เป็นขนมอบประเภทควิกรเบรดที่มีต้นกำเนิดจากแถบสกอตแลนด์และอังกฤษตอนใต้ เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นขนมที่นิยมรับประทานคู่กับชา โดยเฉพาะในวัฒนธรรมการดื่มชาของชาวอังกฤษ จุดเด่นของสโคนคือเนื้อสัมผัสที่กรอบนอกแต่นุ่มร่วนด้านใน อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนสูตรให้เหมาะสมกับความชอบของผู้บริโภคในแต่ละพื้นที่ได้อย่างหลากหลาย จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย¹ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา พฤติกรรมการบริโภคของผู้คนทั่วโลกมีแนวโน้มให้ความสำคัญกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น ผู้บริโภคจำนวนมากเริ่มมองหาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ใช้วัตถุดิบธรรมชาติ ปราศจาก

สารก่อภูมิแพ้ เช่น กลูเตนจากแป้งสาลี และแลคโตสจากนมวัว รวมถึงมีความสนใจในอาหารจากพืชที่ลดการพึ่งพาทรัพยากรสัตว์ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้วัตถุดิบจากพืชจะมีแนวโน้มสอดคล้องกับการบริโภคแบบ plant-based หรือมังสวิรัต แต่ในบางกรณีก็ไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มนั้นได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงไม่ได้มุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์สโคนให้เป็นอาหาร plant-based อย่างเคร่งครัด แต่เน้นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ลดพลังงาน และส่งเสริมการใช้วัตถุดิบจากพืชท้องถิ่นเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพและเศรษฐกิจชุมชน² หนึ่งในวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นแป้งทดแทน คือ กลอย (*Dioscorea hispida* Dennst.) ซึ่งเป็นพืชหัวพื้นถิ่นที่พบมากในภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะ

ในจังหวัดแพร่ กลอยอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต แคลเซียม และฟอสฟอรัส และให้พลังงานสูง เหมาะสมกับการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อย่างไรก็ตาม กลอยมีสารพิษตามธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษอย่างเหมาะสมก่อนนำมาบริโภค จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแป้งจากพืชหัว เช่น กลอย หรือมันเทศ สามารถให้เนื้อสัมผัสที่ดีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ และเพิ่มความน่าสนใจทั้งในด้านรสชาติและความรู้สึกสัมผัสเมื่อรับประทาน³ อีกหนึ่งวัตถุดิบที่มีความน่าสนใจคือ ถั่วมะแฮะ (Pigeon Pea; *Cajanus cajan* L.) ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วพื้นบ้านที่มีโปรตีนสูง มีกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกาย และแร่ธาตุสำคัญหลายชนิด เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ถั่วมะแฮะสามารถนำมาแปรรูปเป็นนํ้านมพืชเพื่อใช้แทนนมวัวในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้อย่างเหมาะสม โดยไม่ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสหรือรสชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงมากนัก อีกทั้งยังเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับผู้ที่ไม่ดื่มวัวหรือเลือกหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์จากสัตว์⁴ งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มีแนวโน้มศึกษาการใช้แป้งจากพืชและนํ้านมจากพืชแยกจากกัน โดยเน้นวัตถุดิบที่ได้รับความนิยมในเชิงอุตสาหกรรม เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมัน และนมถั่วเหลือง แต่ยังคงขาดการวิจัยที่ใช้กลอยและถั่วมะแฮะร่วมกัน ในสูตรเดียวโดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ “สโคน” ที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างและความคาดหวังด้านรสชาติของผู้บริโภค นอกจากนี้ ยังไม่พบงานวิจัยที่ประเมินผลทั้งด้านประสาทสัมผัส พลังงาน และการยอมรับของผู้บริโภคอย่างองค์รวม โดยเฉพาะในบริบทของการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นเพื่อการพัฒนาอาหารที่ยั่งยืน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาสโคนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น โดยใช้แป้งกลอยแทนแป้งสาลี และใช้นํ้านมถั่วมะแฮะแทนนมวัว เพื่อลดพลังงานของผลิตภัณฑ์ เพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ และส่งเสริมการใช้พืชท้องถิ่นอย่างมีมูลค่า ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับแนวโน้มของผู้บริโภคยุคใหม่และแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ยั่งยืนในอนาคต⁵

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์สโคน

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมและความคาดหวังของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์สโคน โดยทำการวิจัยเชิงสำรวจ กลุ่มประชากร คือ ผู้บริโภคที่มีประสบการณ์บริโภคสโคน และคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างอายุ 18-45 ปี จำนวน 100 คน ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) โดยผู้ที่เคยบริโภคสโคนในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา แบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูลผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และทดสอบความเชื่อถือได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) ซึ่งได้ค่าเกิน 0.7 แสดงถึงความน่าเชื่อถือ ข้อมูลเก็บรวบรวมผ่านแบบสอบถามออนไลน์และการสัมภาษณ์ด้วยตนเอง ข้อมูลถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และร้อยละ (Percentage) รวมถึงสถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) โดยใช้การทดสอบไคสแควร์ (Chi-square Test) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุ รายได้ กับพฤติกรรมและความคาดหวังของผู้บริโภค

2. การศึกษาปริมาณการใช้แป้งกลอยทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สโคน

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้แป้งกลอยในผลิตภัณฑ์สโคน โดยอ้างอิงจากตำรามาตรฐานของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต ซึ่งประกอบด้วย แป้งสาลีอเนกประสงค์ ร้อยละ 48.66, น้ำตาลทราย ร้อยละ 7.29, เกลือ ร้อยละ 0.24, ผงฟู ร้อยละ 2.43, เนยสด ร้อยละ 12.16, ไข่ไก่ ร้อยละ 12.16, วิปปิงครีม ร้อยละ 6.08, นมสด ร้อยละ 6.08, และลูกเกด ร้อยละ 4.86 ในการปรับปรุงสูตร ผู้วิจัยได้เพิ่มแป้งกลอยในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 30, ร้อยละ 20 และ ร้อยละ 10 โดยแทนที่ปริมาณแป้งสาลีบางส่วนในสูตรมาตรฐาน เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ประเมินประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส โดยให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 คะแนน (โดย 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับโดยรวม วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย (Duncan's Multiple Range Test : DMRT) การคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมจะพิจารณาจากผลวิเคราะห์ด้านประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ดังกล่าวที่มีค่าคะแนนความชอบสูงสุดเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในการศึกษาต่อไป

3. การศึกษาปริมาณการใช้น้ำมันถั่วมะแสะทดแทนนมวัวต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สโคนเสริมแป้งกลอย

การศึกษาปริมาณการทดแทนน้ำมันถั่วมะแสะในผลิตภัณฑ์สโคนเสริมแป้งกลอย จะดำเนินการโดยทดลองใช้น้ำมันถั่วมะแสะในสามระดับ คือ ร้อยละ 25, ร้อยละ 50 และ ร้อยละ 100 ของปริมาณน้ำมันในสูตรมาตรฐาน ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ประเมินประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส โดยให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 คะแนน (โดย 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับโดยรวม วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย (Duncan's Multiple Range Test : DMRT) การคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมจะพิจารณาจากผลวิเคราะห์ด้านประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ดังกล่าวที่มีค่าคะแนนความชอบสูงสุด

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์สโคนและผลิตภัณฑ์สโคนเสริมแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแสะ รวมถึงเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร

การพัฒนาสสูตรผลิตภัณฑ์สโคนทั้งสองสูตร โดยสูตรควบคุมจะใช้แป้งสาลีและน้ำมันวัว และสูตรที่มีการใช้แป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแสะจากตอนที่ 3 จากนั้นทำการผลิตตัวอย่างของสโคน

ตามสูตรที่กำหนด โดยควบคุมกระบวนการผลิตให้มีความเหมือนกัน จะทำการวิเคราะห์สารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร โดยใช้การวิเคราะห์ Thai Food Composition Table⁶ ทำการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และพลังงาน และทดสอบทางประสาทสัมผัสทั้ง 2 สูตร โดยกลุ่มผู้บริโภคที่มีสุขภาพดี ให้ผู้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์โดยไม่ทราบล่วงหน้าเกี่ยวกับสูตร เพื่อป้องกันอคติในการประเมิน ผู้ทดสอบจะให้คะแนนในด้านลักษณะต่าง ๆ เช่น ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับโดยรวม โดยใช้มาตราส่วน Hedonic 9 คะแนน กลุ่มผู้ทดสอบประกอบไปด้วยบุคคลทั่วไปจำนวน 30 คน โดยใช้สถิติในการคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบ t-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสูตรทั้งสองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์สโคน

การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคกลุ่มอายุ 18-45 ปี ที่บริโภคสโคน โดยใช้ทั้งแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึก พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็น ร้อยละ 65 ของกลุ่มตัวอย่าง โดยอายุเฉลี่ยอยู่ในช่วง 25-35 ปี อาชีพที่พบมากที่สุดคือพนักงานออฟฟิศ (ร้อยละ 40) และนักศึกษา (ร้อยละ 35) โดยมีรายได้เฉลี่ยระหว่าง 15,000-30,000 บาทต่อเดือน สำหรับความคุ้นเคยกับสโคน พบว่า ร้อยละ 75 ของผู้บริโภคเคยบริโภคสโคนอย่างน้อย 1-2 ครั้งต่อเดือน สโคนมักถูกบริโภคเป็นของว่างคู่กับชาหรือกาแฟ โดยส่วนใหญ่

บริโภคในช่วงบ่าย (ร้อยละ 50) และมักรับประทานในบรรยากาศคาเฟ่ (ร้อยละ 35) ผู้บริโภคแสดงความพึงพอใจในรสชาติและเนื้อสัมผัสของสโคน โดยเฉพาะในเรื่องความนุ่มและกลิ่นหอม (ร้อยละ 60) อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคบางส่วน (ร้อยละ 30) มองว่าสโคนบางครั้งมีรสหวานเกินไป ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสโคนได้แก่ ราคา (ร้อยละ 40) ความสดใหม่ (ร้อยละ 35) และรสชาติ (ร้อยละ 25) โดยแบรนด์หรือสถานที่จำหน่ายไม่มีผลมากนักต่อการเลือกซื้อ ผู้บริโภคคาดหวังว่าสโคนควรมีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น มีน้ำตาลและไขมันต่ำ และเส้นใยอาหารเพียงพอ ซึ่ง ร้อยละ 50 ของกลุ่มตัวอย่างระบุว่าต้องการสโคนที่ดีต่อสุขภาพและใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ผู้บริโภคยังสนใจในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมที่ไม่ก่อให้เกิดการแพ้ เช่น ปราศจากกลูเตนหรือแลคโตส ในด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ผู้บริโภคสนใจในสโคนที่เสริมคุณค่าทางโภชนาการจากวัตถุดิบใหม่ ๆ อย่างแบ้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะ โดย ร้อยละ 65 ของกลุ่มตัวอย่างยินดีที่จะทดลองผลิตภัณฑ์ใหม่หากเป็นมิตรต่อสุขภาพ และ ร้อยละ 30 สนใจผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติและท้องถิ่น ช่องทางการซื้อและการบริโภคสโคนพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เลือกซื้อสโคนจากร้านคาเฟ่ (ร้อยละ 50) และซูเปอร์มาร์เก็ต (ร้อยละ 30) โดยการซื้อผ่านช่องทางออนไลน์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงสองปีที่ผ่านมา อีกทั้ง ร้อยละ 60 ของผู้ตอบแบบสอบถามระบุว่าชอบรับประทานสโคนที่ร้านเป็นหลัก เพราะได้เพลิดเพลินกับบรรยากาศและความสะดวกในการสั่งซื้อพร้อมสโคน

2. ศึกษาปริมาณการใช้แป้งกลอยทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สโคน

Table 1 Sensory Evaluation of Scones with 10%, 20%, and 30% Substitution of Wheat Flour by Dioscorea Flour

Attribute	Formula 1 (10% Dioscorea Flour)	Formula 2 (20% Dioscorea Flour)	Formula 3 (30% Dioscorea Flour)
Color	6.23 ^b ±0.90	7.87 ^a ±0.94	6.13 ^b ±1.01
Smell	5.93 ^b ±0.83	7.47 ^a ±0.68	5.37 ^c ±0.96
Texture	6.03 ^b ±0.96	7.47 ^a ±0.94	5.30 ^c ±1.02
Taste	5.90 ^b ±1.21	7.63 ^a ±1.03	5.60 ^c ±1.07
Overall	6.33 ^b ±1.06	8.00 ^a ±0.64	5.57 ^c ±0.82
Acceptance			

Note: Mean ± Standard Deviation, (Maximum score = 9)

Letters ^{a, b, c} indicate significant differences between the three formulas within the same row.

Table 1 แสดงผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส (sensory preference) ของผลิตภัณฑ์สโคนที่มีการเสริมแป้งกลอยในอัตราส่วน ร้อยละ 10, ร้อยละ 20 และ ร้อยละ 30 โดยมีการประเมิน 5 ด้าน ได้แก่ สี (color), กลิ่น (smell), เนื้อสัมผัส (texture), รสชาติ (taste) และความพึงพอใจโดยรวม (overall) พบว่า ความชอบด้านสีของสโคนแสดงให้เห็นว่า สูตรที่ใช้แป้งกลอยร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบ เฉลี่ยสูงที่สุดที่ 7.87 ซึ่งสูงกว่าสูตรที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 10 (6.23) และ ร้อยละ 30 (6.13) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในสีของสโคนที่เสริมแป้งกลอยในอัตราส่วน ร้อยละ 20 มากกว่าสูตรอื่น ๆ สีของสโคนมีความสำคัญในการดึงดูดผู้บริโภค ซึ่งเห็นว่าการใช้แป้งกลอยในปริมาณ ร้อยละ 20 ช่วยให้เห็นของผลิตภัณฑ์ออกมาน่าพึงพอใจมากที่สุด ในด้านกลิ่น พบว่าสูตรสโคนที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 20

ได้คะแนนสูงสุดที่ 7.47 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 10 (5.93) และร้อยละ 30 (5.37) ($p \leq 0.05$) บ่งบอกว่าผู้บริโภคมีความชื่นชอบกลิ่นของสโคนที่ใช้แป้งกลอยในอัตราส่วน ร้อยละ 20 มากกว่าสูตรอื่น ๆ กลิ่นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรับรู้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้การใช้แป้งกลอยในสัดส่วน ร้อยละ 20 ช่วยให้เห็นกลิ่นของสโคนได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด ความชอบด้านเนื้อสัมผัสพบว่าสูตรที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 20 ได้คะแนนสูงสุดที่ 7.47 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 10 (6.03) และ ร้อยละ 30 (5.30) ($p \leq 0.05$) ผู้บริโภคชื่นชอบเนื้อสัมผัสของสโคนที่เสริมแป้งกลอยในอัตราส่วน ร้อยละ 20 มากที่สุด เนื้อสัมผัสของสโคนที่นุ่ม และร่วนพองเหมาะถือเป็นจุดที่ทำให้ผู้บริโภคพึงพอใจโดยแป้งกลอยในปริมาณร้อยละ 20 ช่วยให้เนื้อสัมผัสของสโคนมีคุณภาพดีมากที่สุดเมื่อเทียบกับ

สูตรอื่น ด้านรสชาติ ความชอบว่าสูตรสโคนที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 20 ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุดที่ 7.63 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ใช้แป้งกลอยร้อยละ 10 (5.90) และร้อยละ 30 (5.60) ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคชื่นชอบรสชาติของสโคนสูตรที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 20 มากที่สุด รสชาติเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค และผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าแป้งกลอย ร้อยละ 20 ช่วยให้รสชาติของสโคนเป็นที่ยอมรับอย่างดี ความชอบด้านความพึงพอใจโดยรวมพบว่าสูตรสโคนที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 20 ได้คะแนนสูงสุดที่ 8.00 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 10 (6.33) และร้อยละ 30 (5.57) ($p \leq 0.05$) ดังนั้นสโคนสูตรที่ใช้แป้งกลอยในอัตราส่วน ร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกด้านของการประเมินทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ

และความพึงพอใจโดยรวม เนื่องมาจากอัตราส่วนของแป้งกลอยที่ไม่มากเกินไปจนกระทบต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และยังไม่ได้เกินไปจนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของสโคน โดยแป้งกลอยในระดับ ร้อยละ 20 มีบทบาทช่วยให้เนื้อสัมผัสของสโคนมีความนุ่มและร่วนอย่างเหมาะสม รวมถึงให้สีที่สวยงามน่ารับประทาน และช่วยเพิ่มกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์จากวัตถุดิบท้องถิ่น ในขณะที่สูตรที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 10 อาจมีปริมาณของแป้งกลอยไม่เพียงพอในการสร้างความแตกต่างที่ชัดเจนในกลิ่น รสชาติ หรือเนื้อสัมผัส ทำให้ความพึงพอใจลดลงเล็กน้อย ส่วน สูตรที่ใช้แป้งกลอย ร้อยละ 30 มีแนวโน้มว่าการใช้แป้งกลอยในปริมาณที่สูงเกินไป ทำให้เนื้อสัมผัสหยาบหรือแห้ง ร่วนเกินไป และมีกลิ่นหรือรสที่แรงจนกระทบต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค ส่งผลให้คะแนนความชอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

3. ศึกษาปริมาณการใช้น้ำมันถั่วมะแฮทดแทนนมวัวต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สโคนเสริมแป้งกลอย

Table 2. Sensory Evaluation of Scones Containing 20% Dioscorea Flour and Various Levels of Pigeon Pea Milk Substitution

Attribute	Formula 1 (25%Pigeon Pea Milk)	Formula 2 (50%Pigeon Pea Milk)	Formula 3 (100%Pigeon Pea Milk)
Color	5.10 ^b ±0.73	6.70 ^a ±0.82	5.00 ^b ±0.67
Smell	5.20 ^b ±1.03	6.90 ^a ±1.10	5.00 ^b ±0.82
Texture	5.30 ^b ±1.05	7.20 ^a ±0.63	5.00 ^b ±0.82
Taste	5.30 ^b ±1.16	7.40 ^a ±0.70	4.80 ^b ±0.92
Overall Acceptance	5.20 ^b ±1.03	7.30 ^a ±0.67	4.90 ^b ±0.57

Note: Mean ± Standard Deviation (Maximum score = 9)

Letters ^{a, b} indicate significant differences between the three formulas within the same row.

Table 2 แสดงผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส (sensory preference) ของผลิตภัณฑ์สโคนที่เสริมแป้งกลอย ร้อยละ 20 โดยใช้น้ำมันถั่วมะแฮะในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 25, ร้อยละ 50 และ ร้อยละ 100 ของปริมาณน้ำมันที่ใช้ในสูตรสโคนปกติ การประเมินความชอบครอบคลุม 5 ด้าน ได้แก่ สี (color), กลิ่น (smell), เนื้อสัมผัส (texture), รสชาติ (taste) และความพึงพอใจโดยรวม (overall) โดยคะแนนเต็มคือ 9 และตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย (Mean) พร้อมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) พบว่า ด้านสี (color) สูตรที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 50 ได้คะแนนสูงสุดที่ 6.70 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 25 (5.10) และ ร้อยละ 100 (5.00) ($p \leq 0.05$) สาเหตุที่สูตร ร้อยละ 50 ได้คะแนนสูงสุดในด้านสีอาจเกิดจากความสมดุลของการผสมน้ำมันถั่วมะแฮะกับแป้งกลอย ทำให้สโคนมีสีที่สม่ำเสมอ ไม่จางหรือเข้มเกินไป ขณะที่สูตร ร้อยละ 25 อาจทำให้สีดูจางเกินไป ส่วนสูตร ร้อยละ 100 อาจทำให้สีเข้มมากหรือมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่ไม่พึงประสงค์ ทั้งนี้ความสมดุลในที่นี้ หมายถึง การที่สัดส่วนน้ำมันถั่วมะแฮะที่ใช้มีผลต่อการพัฒนาเมลานอยด์จากปฏิกิริยา Maillard (Maillard Reaction) และการกระจายของเม็ดสีธรรมชาติในแป้งกลอยและน้ำมันถั่ว ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นที่รู้กันว่ามีผลต่อสี กลิ่น และรสของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่² สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้สัดส่วนน้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 50 จึงอาจมี

ความพอเหมาะ กลมกลืน และใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ผู้บริโภคคุ้นเคย ซึ่งอาจส่งผลต่อการยอมรับด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ด้านกลิ่น (smell) พบว่า สโคนสูตรที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 50 ได้คะแนนสูงสุดที่ 6.90 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 25 (5.20) และ ร้อยละ 100 (5.00) ($p \leq 0.05$) การที่สูตรร้อยละ 50 ได้คะแนนกลิ่นสูงสุด อาจเกิดจากการปล่อยกลิ่นหอมในระดับที่พอเหมาะของน้ำมันถั่วมะแฮะ ซึ่งช่วยเสริมกลิ่นธรรมชาติของสโคนโดยไม่ทำให้กลิ่นอ่อนหรือแรงจนเกินไป ขณะที่สูตร ร้อยละ 25 อาจไม่เพียงพอในการสร้างกลิ่นที่เด่นชัด และสูตร ร้อยละ 100 อาจทำให้กลิ่นน้ำมันถั่วมะแฮะแรงเกินไปจนไปบดบังกลิ่นอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ ด้านเนื้อสัมผัส (texture) พบว่า สูตรที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 50 ได้คะแนนสูงสุดที่ 7.20 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 25 (5.30) และ ร้อยละ 100 (5.00) ($p \leq 0.05$) การที่สูตร ร้อยละ 50 ได้รับคะแนนสูงสุดในด้านเนื้อสัมผัส อาจเนื่องจากสัดส่วนนี้ให้ความสมดุลระหว่างการผสมน้ำมันถั่วมะแฮะและแป้งกลอย ทำให้สโคนมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มละมุน ไม่แข็งหรือหยาบจนเกินไป ขณะที่สูตร ร้อยละ 100 อาจทำให้เนื้อสัมผัสหนักและหนาเกินไป ส่วนสูตรร้อยละ 25 อาจทำให้เนื้อสัมผัสแห้งและไม่ฟูเท่าที่ควร ด้านรสชาติ (taste) พบว่าผลการประเมินด้านรสชาติพบว่าสูตรที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะร้อยละ 50 ได้คะแนนสูงสุดที่ 7.40 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะร้อยละ 25 (5.30) และร้อยละ 100

(4.80) ($p \leq 0.05$) การที่รสชาติของสโคนสูตร ร้อยละ 50 ได้รับคะแนนสูงสุด อาจเป็นเพราะความ สมดุลระหว่างน้ำมันถั่วมะแฮะและส่วนผสมอื่น ๆ ทำให้รสชาติกลมกล่อมพอดี ไม่จืดหรือเข้มข้นเกินไป สูตรร้อยละ 100 อาจมีรสชาติที่เข้มข้นเกินไปจาก น้ำมันถั่วมะแฮะ ขณะที่สูตร ร้อยละ 25 อาจทำให้ รสชาติไม่โดดเด่น ด้านความพึงพอใจโดยรวม (overall) พบว่า สูตรที่ใช้ น้ำมันถั่วมะแฮะร้อยละ 50 ได้รับคะแนนความพึงพอใจโดยรวมสูงสุดที่ 7.30 ซึ่งแตกต่างจากสูตรที่ใช้ น้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 25

(5.20) และร้อยละ 100 (4.90) อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การที่สูตรร้อยละ 50 ได้รับ คะแนนสูงสุดในด้านนี้ อาจเป็นเพราะว่าสัดส่วนนี้ ให้ความสมดุลในทุกด้าน ทั้งสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์โดยรวมได้รับความพึง พอใจมากที่สุด ขณะที่สูตร ร้อยละ 100 อาจมีปริมาณ น้ำมันถั่วมะแฮะมากเกินไป จนส่งผลกระทบต่อ คุณลักษณะด้านอื่น ๆ ส่วนสูตร ร้อยละ 25 อาจไม่ เพียงพอในการเสริมสร้างคุณลักษณะเด่นของสโคน

4. ปริมาณสารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์สโคนและผลิตภัณฑ์สโคนเสริมแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะ รวมถึงเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร

Table 3 Distribution of Main Nutrients in Standard Scone and Scone with Dioscorea Flour and Pigeon Pea Milk (per 100g)

Nutrients	Standard Scone	Scone with Dioscorea Flour (20%) and Pigeon Pea Milk (50%)
Carbohydrates (g)	49.56	40.17
Protein (g)	7.08	4.18
Fat (g)	13.55	9.62
Total Energy (kcal)	352.33	272.06

Note: Analyzed from Thai Food Composition Table (Department of Health, Ministry of Public Health, n.d.)

Table 3 จากการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์สโคนทั้งสูตรดั้งเดิมและสูตรที่เสริมด้วยแป้งกลอย 20% และน้ำมันถั่วมะแฮะ 50% ต่อ 100 กรัมของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่า สโคนสูตรดั้งเดิม ให้พลังงานรวมสูงถึง 352.33 กิโลแคลอรี โดยประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 49.56 กรัม โปรตีน 7.08 กรัม และไขมัน 13.55 กรัม ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบทางโภชนาการที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่ดีและ

รสชาติที่กลมกล่อม โดยโปรตีนมีบทบาทสำคัญในการสร้างโครงสร้างของขนมให้คงรูปและนุ่มฟู ส่วนไขมันช่วยเพิ่มความเนียนนุ่ม กลิ่นหอม และสัมผัสที่น่าพึงพอใจ ในทางกลับกัน สโคนสูตรที่เสริมแป้งกลอย 20% และน้ำมันถั่วมะแฮะ 50% มีพลังงานรวมลดลงอย่างชัดเจน โดยอยู่ที่ 272.06 กิโลแคลอรี ต่อ 100 กรัม คิดเป็นการลดลงประมาณ 22.77% เมื่อเทียบกับสูตรดั้งเดิม โดยมีคาร์โบไฮเดรต 40.17 กรัม โปรตีน 4.18 กรัม และไขมัน 9.62 กรัม

การลดลงของพลังงานและสารอาหารหลักบางส่วนนี้สะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เน้นด้านสุขภาพ โดยใช้วัตถุดิบจากพืชที่ให้พลังงาน

ต่ำกว่า เช่น แป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะ ซึ่งนอกจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการ ยังเป็นการส่งเสริมการใช้วัตถุดิบท้องถิ่น

Table 4. Sensory Evaluation of Standard Scone and Scone with Dioscorea Flour and Pigeon Pea Milk

Attribute	Standard Scone (Mean $\pm$ SD)	Scone with Dioscorea Flour and Pigeon Pea Milk (Mean $\pm$ SD)
Color	7.00 $\pm$ 0.60	7.00 $\pm$ 0.65
Smell	7.50 $\pm$ 0.70	7.50 $\pm$ 0.70
Texture	7.00 $\pm$ 0.70	7.10 $\pm$ 0.75
Taste	7.30 $\pm$ 0.80	7.30 $\pm$ 0.75
Overall Acceptance	7.70 $\pm$ 0.60	7.60 $\pm$ 0.65

จากการวิเคราะห์ใน Table 4 พบว่า ค่า t-test ให้ค่า p-value มากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าผลิตภัณฑ์สโคนสูตรดั้งเดิม และสโคนสูตรที่เสริมแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นั้นแสดงว่าผู้บริโภคให้การตอบรับต่อทั้งสองสูตรในระดับที่ใกล้เคียงกัน สำหรับส่วนผสมของผลิตภัณฑ์สโคนสูตรควบคุม มีส่วนประกอบดังนี้ แป้งสาลีเอนกประสงค์ ร้อยละ 48.66, น้ำตาลทราย ร้อยละ 7.29, เกลือ ร้อยละ 0.24, ผงฟู ร้อยละ 2.43, เนยสด ร้อยละ 12.16, ไข่ไก่ ร้อยละ 12.16, วิปปิ้งครีม ร้อยละ 6.08, นมสด ร้อยละ 6.08 และลูกเกด ร้อยละ 4.86 ส่วนผลิตภัณฑ์สโคนที่เสริมแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะนั้น ประกอบด้วย แป้งสาลีเอนกประสงค์ ร้อยละ 28.66, แป้งกลอย ร้อยละ 20, น้ำตาลทราย ร้อยละ 7.29, เกลือ ร้อยละ 0.24, ผงฟู ร้อยละ 2.43, เนยสด ร้อยละ 12.16, ไข่ไก่ ร้อยละ 12.16, วิปปิ้งครีม ร้อยละ 6.08, นมสด ร้อยละ 3.04, น้ำมันถั่วมะแฮะ ร้อยละ 3.04 และลูกเกด ร้อยละ 4.86

อภิปรายผลการทดลอง

ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์สโคนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในแง่ของการเป็นอาหารว่างที่สามารถบริโภคคู่กับเครื่องดื่มอย่างชาและกาแฟ ความคาดหวังด้านสุขภาพและโภชนาการมีความสำคัญอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภคสมัยใหม่ ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เสริมแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะมีแนวโน้มที่จะได้รับการตอบรับที่ดี นอกจากนี้ ช่องทางการจัดจำหน่ายและการสร้างบรรยากาศในร้านค้ายังเป็นปัจจัยที่ควรเน้นในการส่งเสริมการตลาดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เข้าถึงผู้บริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสูตรสโคนที่ใช้แป้งกลอยร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุดในทุกด้าน ได้แก่ สี, กลิ่น, เนื้อสัมผัส, รสชาติ และความพึงพอใจโดยรวม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนแป้งกลอยร้อยละ 20 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการเสริมในผลิตภัณฑ์สโคน การที่สูตรแป้งกลอยร้อยละ 20 ได้รับคะแนนสูงสุดใน

ด้านสี สอดคล้องกับทฤษฎีการรับรู้ทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะด้านสีที่มีความสำคัญต่อการรับรู้คุณภาพอาหาร^{7,8} ในด้านกลิ่น ผลการทดลองพบว่าสูตรร้อยละ 20 ได้รับคะแนนสูงสุดเนื่องจากกลิ่นที่สมดุล ไม่มากหรือน้อยเกินไป^{9,10} สำหรับเนื้อสัมผัส ผลการทดลองแสดงว่าสูตรร้อยละ 20 ให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มและร่วนพองเหมาะ ซึ่งตรงกับความต้องการของผู้บริโภค^{11,12} ในด้านรสชาติ สูตรแป้งกลอยร้อยละ 20 ได้รับการยอมรับมากที่สุดเนื่องจากรสชาติที่กลมกล่อม¹³ และสุดท้ายในด้านความพึงพอใจโดยรวม ผลการวิจัยแสดงว่าการใช้แป้งกลอยร้อยละ 20 ช่วยเสริมคุณภาพของสโคนในทุกด้าน ส่งผลให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจสูงสุด¹⁴ นอกจากนี้จากงานวิจัย¹⁵ ได้เน้นถึงคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ของแป้งกลอยในการเสริมคุณค่าทางโภชนาการและเพิ่มความน่าสนใจในผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยเฉพาะในด้านของเนื้อสัมผัสและความสามารถในการให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อีกทั้ง¹⁶ ได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้วัตถุดิบท้องถิ่นอย่างถั่วมะแฮะ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและสามารถใช้ทดแทนนมวัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการเลือกใช้แป้งกลอยในสัดส่วนร้อยละ 20 ในผลิตภัณฑ์สโคนยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ¹⁷ ที่ระบุว่าแป้งจากพืชท้องถิ่นในประเทศไทยมีคุณสมบัติเฉพาะที่ช่วยเสริมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น ความเหนียวและความคงตัวที่ดี การใช้แป้งกลอยในปริมาณที่เหมาะสมจึงช่วยเสริมความเป็นเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์สโคน ทั้งในแง่ของเนื้อสัมผัสที่นุ่มและร่วน รวมถึงรสชาติที่กลมกล่อม

ผลการวิจัยพบว่าสูตรสโคนที่ใช้น้ำมันถั่วมะแฮะในสัดส่วน ร้อยละ 50 ได้รับคะแนนสูงสุดในทุกด้าน ได้แก่ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความพึงพอใจโดยรวม การที่สูตรนี้ได้รับคะแนนสูงสุดในด้านสี สอดคล้องกับทฤษฎีการรับรู้ทางประสาทสัมผัสที่อธิบายว่าสีเป็นปัจจัยแรกที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์อาหาร^{7,8} ซึ่งในงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วมะแฮะยังพบว่าถั่วมะแฮะเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูง มีแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ¹⁶ ในด้านกลิ่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสูตรร้อยละ 50 มีความสมดุลของกลิ่นที่เหมาะสม ไม่แรงหรืออ่อนเกินไป ซึ่งช่วยเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภค^{9,10} สำหรับเนื้อสัมผัส สูตร ร้อยละ 50 ให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มและร่วนพองเหมาะ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ^{11,12} ที่ชี้ว่าเนื้อสัมผัสที่พองเหมาะมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับข้อมูลที่ว่า การใช้วัตถุดิบท้องถิ่น เช่น ถั่วมะแฮะ และพืชที่มีประโยชน์อย่างกลอย ซึ่งเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงในจังหวัดแพร่ ช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีความโดดเด่นและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ที่ใส่ใจสุขภาพและวัตถุดิบธรรมชาติ⁴ ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นอย่างแป้งกลอยและถั่วมะแฮะไม่เพียงแต่จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ แต่ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพืชท้องถิ่นและสนับสนุนเศรษฐกิจในพื้นที่ อีกทั้งยังตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่มุ่งเน้นสุขภาพและการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ

การวิเคราะห์สารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์สโคนและผลิตภัณฑ์สโคนเสริมแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะเผยให้เห็นข้อมูลที่น่าสนใจเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์โดยผลิตภัณฑ์สโคนสูตรดั้งเดิมที่ใช้แป้งสาลีมีปริมาณพลังงานประมาณ 352.33 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งแสดงถึงการมีคาร์โบไฮเดรตในระดับสูงและโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมสอดคล้องกับพฤติกรรมการบริโภคขนมอบในปัจจุบันที่ผู้บริโภคมักมองหาคุณค่าทางโภชนาการที่ดีในผลิตภัณฑ์ที่บริโภค⁶ ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์สโคนเสริมแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะมีพลังงานประมาณ 272.06 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งถือว่าต่ำกว่าสูตรดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญการใช้แป้งกลอยซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและแร่ธาตุที่สูงนั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์นี้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการเพิ่มสารอาหารที่มีคุณภาพสูง² การทดแทนน้ำมันถั่วมะแฮะซึ่งมีโปรตีนสูงและไม่มีแลคโตส เป็นแนวทางที่ดีในการตอบสนองของความต้องการของผู้บริโภคที่แพ้นมวัวหรือต้องการลดการบริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์ นอกจากนี้ การใช้วัตถุดิบท้องถิ่นยังช่วยเพิ่มความหลากหลายทางโภชนาการในสูตร⁵ แสดงให้เห็นว่าการใช้วัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงสามารถช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ โดยเฉพาะในยุคที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับอาหารที่มีต้นกำเนิดจากพืช³

สรุปผลการทดลอง

1. พฤติกรรมผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์สโคนแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์สโคนที่เสริมด้วยส่วนผสมที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น แป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและมองหาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบริโภคคู่กับเครื่องดื่มอย่างชาและกาแฟ ความคาดหวังของผู้บริโภคในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของสโคนเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อ

2. ปริมาณอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งกลอยในผลิตภัณฑ์สโคน พบว่า อัตราส่วนของแป้งกลอยที่เหมาะสมที่สุดในการเสริมในผลิตภัณฑ์สโคนคือ ร้อยละ 20 เนื่องจากช่วยเสริมคุณภาพในทุกด้าน ทั้งสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติ ซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนแป้งกลอย ร้อยละ 10 และ ร้อยละ 30

3. ปริมาณการทดแทนน้ำมันถั่วมะแฮะในผลิตภัณฑ์สโคนเสริมแป้งกลอย พบว่า สูตรสโคนที่ใช้ น้ำมันถั่วมะแฮะในสัดส่วน ร้อยละ 50 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการทดแทนน้ำมันในสูตรสโคนเสริมแป้งกลอย ร้อยละ 20 สูตรนี้ได้รับความพึงพอใจสูงสุดในทุกด้าน เนื่องจากการผสมผสานของน้ำมันถั่วมะแฮะในปริมาณนี้ช่วยสร้างสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่สมดุล

4. การวิเคราะห์สารอาหารในผลิตภัณฑ์สโคน และสโคนจากแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะพบว่าผลิตภัณฑ์สโคนสูตรควบคุมมีพลังงานประมาณ 352.33 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ขณะที่สโคนจากแป้งกลอยและน้ำมันถั่วมะแฮะมีพลังงาน



เพียง 272.06 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณค่าทางโภชนาการที่สูงขึ้นในผลิตภัณฑ์เสริม การลดพลังงานในสูตรนี้ช่วยตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและสนับสนุนการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาของสโคนแบ่งกลอยและน้ำมันถั่วมะพร้าว เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสและโภชนาการในช่วงเวลาการจัดเก็บ
2. ควรสำรวจวัตถุดิบท้องถิ่นอื่นๆ ที่มีศักยภาพในการเสริมลงในผลิตภัณฑ์สโคน เพื่อเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และส่งเสริมการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

1. Yeo SK, Liong MT. Effect of prebiotics on viability and growth characteristics of probiotics in soymilk. J Sci Food Agric 2012;90:267-75.
2. Wani SA, Kumar P, Malik MA. Plant-based milk alternatives and their functional properties in bakery applications: A review. LWT Food Sci Technol 2022;154:112802.
3. ศรีแก้ว จารุวรรณ, ไทรอาวุธ พรหมณี. การศึกษาศักยภาพของแป้งจากพืชหัวในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบเพื่อสุขภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร 2561;12:45-56.

4. กัลยา สืบสายทอง. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังเสริมโปรตีนจากถั่วพื้นบ้านไทย. รายงานวิจัย. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่; 2563.
5. Steenkamp JB, Van Trijp HC. Consumer values and agricultural products. Eur J Mark 1996;30:35-53.
6. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ตารางองค์ประกอบอาหารไทย. [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 28 ม.ค. 2566] เข้าถึงได้จาก: <https://www.fda.moph.go.th/sites/food/Sharedร้อยละ20Documents/foodร้อยละ20composition ร้อยละ20table.pdf>
7. Spence C, Velasco C, Knoefler K. A large-scale review of food colors and their influence on consumer perceptions and behaviors. Food Qual Prefer 2019;73:192-8.
8. Koch C, Doyle S, Zimmet PZ. Perception of texture in baked goods: A sensory study. J Food Sci Technol 2019;56:3184-91.
9. Lawless HT, Heymann H. Sensory evaluation of food: Principles and practices. 2nd ed. Springer; 2010.
10. Chambers E, Chambers DH, Castro M. What is "sufficient" sweetness? An evaluation of threshold levels for sweetness across food products. J Sens Stud 2015;30:395-402.

11. Roudaut G, Dacremont C, Valles Pamies B. Texture perception of hard, soft and complex food matrices: From fundamentals to sensory evaluation. *J Texture Stud* 2002;33:263-89.
12. Szczesniak AS. Texture is a sensory property. *Food Qual Prefer* 2002;13:215-25.
13. Delwiche JF. The impact of perceptual interactions on perceived flavor. *Food Qual Prefer* 2004;15:137-46.
14. Cardello AV. Consumer expectations and their role in food acceptance. *J Sens Stud* 1994;9:253-66.
15. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. คุณสมบัติของแป้งกลั่น และการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2562.
16. ศิริญา วันดี, อรุษา จันทร์กลิ่น, ปราณี เลิศแก้ว. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วมะแฮะผสมน้ำใบเตย. การประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 2; 22 ธ.ค. 2558. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. กำแพงเพชร; 2558. หน้า 548-55.
17. สุธิดา ปุณยฤทธิ์, ชัยวัฒน์ ธนาพานิชย์. การศึกษาแป้งจากพืชท้องถิ่นในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์การอาหาร* 2561;48:452-62.

อิทธิพลเครื่องรีดนมอัตโนมัติแบบเก็บผลผลิตรายตัวต่อผลผลิต และคุณภาพน้ำนมในแพะนม

The Influence of Automatic Milking Machines with Individual Production Recording on Milk Yield and Milk Quality in Dairy Goats

ดำรงศักดิ์ อารัย^{1*} ทวีรัตน์ ก้อนเครือ¹ เทิดศักดิ์ อารัย² ชยุต พลอยจิรภาส² และ บัณฑิตพงษ์ ศรีอำนวย³

Damrongsak Arlai^{1*} Tawirat Konkrua¹ Terdsak Arlai² Chayut Ployjirapas² and Bundidpong Sriamnouy³

¹สาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

²สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

³สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

¹Department of Animal Science Faculty of Agricultural and Technology Phetchaburi Rajabhat University

²Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering and Industrial Technology Phetchaburi Rajabhat University

³Institute for the Research and Promotion of Arts and Cultures Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: damrongsak.arl@mail.pbru.ac.th

Received: 11 March 2025 /Revised: 16 May 2025 /Accepted: 16 May 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลเครื่องรีดนมอัตโนมัติแบบเก็บผลผลิตรายตัวต่อผลผลิตนม และคุณภาพน้ำนม ซึ่งการทดลองนี้ใช้แพะลูกผสมที่มีระดับสายเลือดของพันธุ์ซาแนน 75% จำนวน 10 ตัว อยู่ในช่วงของการให้นมที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยทำการเก็บนมในรอบวันผลิตเดียวกัน เก็บตัวอย่างทั้งหมด 8 ครั้ง เป็นเวลา 2 เดือน ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลตามลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติ independent t-test พบว่าผลผลิตปริมาณน้ำนมที่ได้จากการรีดด้วยเครื่องรีดนมอัตโนมัติมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 671.6 ± 224.82 กรัม/ตัว ซึ่งสูงกว่าการรีดนมด้วยมือที่ให้ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 593.43 ± 204.96 กรัม/ตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ เครื่องรีดนมอัตโนมัติยังช่วยลดเวลาการทำงานของเกษตรกรได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเวลาที่ใช้ในการรีดนมลดลงจาก 3.24 ± 8.26 นาที/ตัว เมื่อรีดด้วยมือ เหลือเพียง 1.65 ± 0.45 นาที/ตัว และผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำนม พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันนมที่ได้จากการรีดด้วยเครื่องรีดนมอัตโนมัติแบบเก็บผลผลิตรายตัวมีค่าสูงกว่าการรีดด้วยมืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างทางสถิติในค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนนม เปอร์เซ็นต์แลคโตส ค่าโซมาติกเซลล์ ของแข็งรวม และของแข็งไม่รวมไขมันนมระหว่างวิธีการรีดนมทั้งสองแบบ ในส่วนผลการตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์พบว่าเครื่องรีดนมอัตโนมัติมีปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มเท่ากับ 600 cfu/ml ในขณะที่การรีดด้วยมือพบการปนเปื้อนเชื้อโคลิฟอร์มเพียง 1 cfu/ml ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และไม่พบเชื้ออีโคไลในน้ำนม

จากทั้งสองวิธีการรีดนม สรุปได้ว่า เครื่องรีดนมอัตโนมัติสำหรับแพะนมแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณน้ำนมและลดเวลาการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสรุปการใช้เครื่องรีดนมแพะแทนการรีดนมแพะด้วยมือสามารถปรับปรุงคุณภาพนมที่ถูกสุขลักษณะ และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยเฉพาะในฟาร์มเลี้ยงแพะนมขนาดเล็ก

คำสำคัญ: เครื่องรีดนมอัตโนมัติ แบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัว ผลผลิตนม คุณภาพน้ำนม แพะนม

Abstract

This study investigated the influence of an individual milk yield recording automatic milking system (AMS) on milk production and milk quality in crossbred goats with 75% Saanen genetics. Ten lactating goats were used, at their second and third lactation stages, respectively. Milk samples were collected during the same production day across eight sampling events over a two-month period. Data were analyzed according to the characteristics of the experimental groups using descriptive statistics, including mean and standard deviation. The differences between the treatment and control groups were analyzed using independent t-tests. The results showed that the average milk yield from goats milked with the AMS was 671.6 ± 224.82 g/head, which was significantly higher than the yield from manual milking (593.43 ± 204.96 g/head) ($p < 0.05$). Furthermore, the AMS significantly reduced the time required for milking, with an average milking time of 1.65 ± 0.45 minutes/head, compared to 3.24 ± 8.26 minutes/head for manual milking ($p < 0.05$). In terms of milk quality, the fat percentage in milk obtained using the AMS was significantly higher than that obtained through manual milking ($p < 0.05$). However, no statistically significant differences were observed in milk protein percentage, lactose percentage, somatic cell count, total solids, or solids-not-fat between the two milking methods. Microbiological analysis revealed a significant difference in coliform contamination between the two methods: milk from the AMS contained 600 cfu/ml of coliforms, while milk from manual milking contained only 1 cfu/ml ($p < 0.001$). No *Escherichia coli* (*E. coli*) was detected in milk obtained from both methods. In conclusion, the individual milk yield recording automatic milking system was effective in significantly increasing milk yield and reducing labor time. However, microbial contamination control remains a concern that requires further attention. In conclusion, using a goat milking machine instead of hand milking can improve the hygienic quality of the milk and increase work efficiency on the farm, especially for small-scale dairy goat farms.

Keywords: Automatic milking machine, individual production recording, milk yield, milk quality, dairy goats

บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาฟาร์มปศุสัตว์อัจฉริยะที่มีความแม่นยำ (Precision livestock farming) เป็นการนำเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะเข้ามาช่วยในการคิด และตัดสินใจการจัดการฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้อย่างเหมาะสมกับทรัพยากรภายในฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์แต่ละตัว (Individual animals) ภายใต้ความแปรปรวนของข้อมูลผลผลิตสัตว์ที่มีความแตกต่างกัน ความแม่นยำจากข้อมูลฟาร์มช่วยสร้างความได้เปรียบในการใช้ประโยชน์จากความแปรปรวนระหว่างสัตว์ในฟาร์ม และสร้างข้อมูลที่สามารถติดตามความก้าวหน้าของผลผลิตจากการดำเนินกิจการฟาร์มให้ตรงตามความต้องการของเกษตรกร¹ อย่างไรก็ตามความก้าวหน้าสำหรับการพัฒนาการจัดการฟาร์มปศุสัตว์แม่นยำสำหรับการเลี้ยงแพะนมยังมีไม่มากนัก จึงยังทำให้การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่นี้มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการฟาร์มแพะนมยังคงห่างไกลจากความสำเร็จเมื่อเทียบกับตัวอย่างในโคนม โดย Kaunkid et al.² รายงานว่าปริมาณน้ำนมของโคนมถือเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุดในการจัดการฟาร์ม อย่างไรก็ตามการวัดและบันทึกปริมาณน้ำนมสำหรับฟาร์มโคนม

ขนาดเล็กเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ซึ่งปัญหาเช่นนี้ก็เกิดขึ้นในแพะนมด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะค่าของผลผลิต เช่นอัตราค่าไรสุทธิต่อตัวที่ต่ำ การไม่มีการพัฒนาหุ่นยนต์รีดนมแพะรายตัว และการบริหารระบบการจัดการแปลงหญ้าที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นข้อจำกัดสำหรับการนำโปรแกรมการจัดการฟาร์มปศุสัตว์แม่นยำมาใช้ในการทำฟาร์มแพะนม¹

ดาร์กคิตี และคณะ³ ได้พัฒนาเครื่องรีดนมแพะเพื่อเก็บผลผลิตน้ำนมรายตัวสำหรับฟาร์มขนาดเล็กด้วยเทคโนโลยี IoT โดยระบบที่พัฒนาสามารถใช้งานร่วมกับเซ็นเซอร์ เช่น แท็กที่ปล่อยคลื่นความถี่ที่มีหมายเลขเฉพาะของสัตว์ตัวนั้น จากนั้นเครื่องอ่านจะรับคลื่นความถี่นั้นเพื่อระบุตัวสัตว์ตัวนั้นได้อย่างรวดเร็ว (RFID), เซ็นเซอร์วัดแรง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในการวัดน้ำหนัก (Load cell) เพื่อเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์และส่งต่อข้อมูลไปยังระบบจัดการข้อมูลใน Google sheets และ Looker studio เพื่อการวิเคราะห์และแสดงผล โดยผลจากการวิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการพบว่า ประสิทธิภาพของระบบมีความแม่นยำสูง โดยเฉพาะการใช้งาน RFID ในการระบุแพะแต่ละตัวและการเก็บข้อมูลน้ำหนักน้ำนมแพะรายตัวมีความแม่นยำมากกว่า 99% ดังแสดงใน Figure 1



Figure 1. Automatic Milking Machines with Individual Production Recording

ที่มา: ดำรงศักดิ์ และคณะ³

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบเครื่องรีดนมแพะอัตโนมัติที่ติดตั้งระบบบันทึกปริมาณนมรายตัวดังกล่าว เพื่อจะได้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องรีดนมแพะอัตโนมัติแบบเก็บผลผลิตรายตัวในภาคสนามเกี่ยวกับด้านวัดและบันทึกปริมาณน้ำนมได้อย่างถูกต้อง รวมไปถึงการลดแรงงานในฟาร์ม และคุณภาพน้ำนมที่รีดได้ต่อไป

วิธีการวิจัย

สัตว์ทดลอง

แพะที่ใช้ในการทดลองเป็นลูกผสมที่มีระดับสายเลือดของพันธุ์ซาแนน 75% จำนวน 10 ตัว ในช่วงของการให้นมที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อเริ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 50 ± 3 กิโลกรัม และให้นมเฉลี่ยมาแล้ว 60 ± 10 วัน โดยแพะทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิและวิตามิน AD_3E ก่อนเข้าทำการทดลองอย่างน้อย 2 สัปดาห์ แพะถูกเลี้ยงในคอกเดียวกัน แต่ละคอกมีรางอาหาร รางน้ำแยกเฉพาะตัว และมีน้ำให้กินตลอดเวลา

เก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำนมดิบจากฟาร์มแพะนมอำเภอสามพระยา จังหวัดเพชรบุรี โดยเก็บนมแพะดิบใส่ขวดตัวอย่างละ 10 มิลลิตร โดยนมที่เก็บเป็นนมในรอบวันผลิตเดียวกัน เก็บตัวอย่างทั้งหมด 8 ครั้ง เดือนละ 4 ครั้ง เป็นเวลา 2 เดือน

การบันทึกข้อมูล

1.บันทึกข้อมูลปริมาณนม และระยะเวลาการรีดนมด้วยเครื่องรีดนมอัตโนมัติแบบบันทึกผลผลิตรายตัวกับแม่แพะจำนวน 5 ตัว และวิธีการรีดด้วยมือรีดกับแม่แพะ จำนวน 5 ตัว

2.บันทึกคุณภาพทางเคมีของน้ำนมดิบ ได้แก่ องค์ประกอบหลักของน้ำนมทางเคมีของน้ำนม เช่น ไขมัน (Fat) ของแข็งในนมรวม (TS) และของแข็งในน้ำนมที่ไม่รวมไขมัน (Solids not fat, SNF) โปรตีน (Proteins) น้ำตาลแลคโตส (Lactose) โดยใช้เครื่องเครื่องตรวจน้ำนม Lactoscan milk analyzer และค่าไขมันมาติกเซลล์ในน้ำนมทั้งหมดด้วยเครื่องตรวจไขมันมาติกเซลล์แบบอัตโนมัติของบริษัท DeLaval รุ่น DCC

3. บันทึกผลการตรวจจุลินทรีย์ในน้ำนม ได้แก่ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดด้วยเทคนิค Petri film AOAC Official Method 986.33 และ 989.10 Bacterial and Coliform Counts in Milk, 2019 film, จำนวนแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มในน้ำนมด้วยเทคนิค Petri film AOAC official method 991.14 coliform and *Escherichia coli* counts in foods⁴ และ AOAC official method 986.33 bacterial and coliform counts in milk⁵ และผลทดสอบ Methylene blue test ตามวิธี Atherton and Newlander⁶

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานวิเคราะห์ความแตกต่างกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติ Independent t-test ด้วยโปรแกรม Microsoft excel

ผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบผลผลิตนมแพะแบบรายตัว (ปริมาณน้ำนม และระยะเวลาในการรีด) จากฟาร์มแพะนม พบว่าเครื่องรีदनนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวสามารถรีดได้ในปริมาณเท่ากับ 671.6 ± 224.82 กรัม/ตัว ซึ่งมีปริมาณนมแพะมากกว่าการรีดด้วยมือ ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 593.43 ± 204.96 กรัม/ตัว แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนระยะเวลาในการรีदनนมแพะ พบว่าเครื่องรีदनนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัว สามารถลดเวลาการรีदनนมของเกษตรกรลงจากเดิมที่ใช้วิธีการรีดด้วยมือใช้เวลา 3.24 ± 8.26 นาที/ตัว ลดลงเหลือ 1.65 ± 0.45 นาที/ตัว เมื่อรีदनนมด้วยเครื่องรีดแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัว ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 1

Table 1. Milk yield and time spent on milking at different milking methods

Parameter measurement	Hand milking	machine milking	SE	p-value
Milk yield per milking, ml	593.43±204.96	671.6±224.82	215.12	0.10
time spent on milking, min	3.24±8.26 ^b	1.65±0.45 ^a	5.85	<0.05

^{ab} means in the same row for each parameter with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)

^{SE} Standard error

การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำนมจากวิธีการรีดด้วยมือ และเครื่องรีदनนมแพะอัจฉริยะ

ผลการศึกษาค้นพบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากวิธีการรีดด้วยมือ และเครื่องรีदनนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัว พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไขมัน (Fat, %) ที่รีदनนมด้วยเครื่องรีदनนมแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวจะมีค่าสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันที่รีดด้วยมือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ในส่วนองค์ประกอบเคมีในน้ำนม ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม (Proteins, %) เปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนม (Lactose, %) ค่าโซมาติกเซลล์ (SCC x 1000/ml) ของแข็งรวมในน้ำนม (Total solid, TS) และของแข็งไม่รวมไขมันนม (Solids not fat, SNF) ของผลการศึกษาค้นพบว่าผลของข้อมูลองค์ประกอบเคมีในน้ำนมข้างต้นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างวิธีการรีदनนมด้วยเครื่อง และวิธีการรีदनนมด้วยมือ ($p > 0.05$) ดัง Table 2

Table 2. Milk composition, and Somatic cell count (SCC) in milk at different milking method

Parameter masurement	Hand milking	machine milking	SE	p-value
Fat, %	4.66±2.41 ^b	5.69±2.84 ^a	0.45	<0.05
Proteins, %	4.36±1.00	4.09±1.09	0.34	0.45
Lactose, %	4.11±0.20	4.26±0.25	0.57	0.75
SCC x 1000/ ml	483.3±726.95	425±755.53	250	0.82
Total solid, TS	13.82±3.34	14.738±3.50	0.68	0.21
Solids not fat, SNF	9.19±1.08	9.10±0.95	0.35	0.81

^{ab} means in the same row for each parameter with different superscripts are significantly different (p<0.05)

ผลการศึกษาค้นพบว่าค่า SCC ในน้ำนมแพะที่รีดด้วยเครื่อง และรีดด้วยมือมีค่าเท่ากับ 425±755.53 x 1000/ml และ 483.3±726.95 x 1000/ml ตามลำดับโดยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งตามสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติของประเทศไทย (Thai Agricultural standard; TAS 6006-2008) กำหนดค่าโซมาติกเซลล์ของน้ำนมแพะดิบควรอยู่ที่ ไม่เกิน 1.5×10^6 cell/ml⁷

การประเมินจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนมจากวิธีการรีดด้วยมือ และเครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัว

ในส่วนการเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำนมจากวิธีการรีดด้วยมือ และเครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัว พบว่าการ

รีดนมแพะด้วยวิธีการทั้ง 2 แบบ ไม่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำนมแพะที่นับได้ (Total viable count, $\times 10^6$ cfu/ml) ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา (Methylene blue reductase, hr) และปริมาณของเชื้ออีโคไล (*E. Coli*, cfu/ml) โดยพบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยเฉพาะปริมาณของเชื้ออีโคไลจากน้ำนมแพะที่ผ่านการรีดจาก 2 แบบ ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องที่ดีที่ตรวจไม่พบ เพราะอีโคไลเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคท้องเสียในคน และเป็นสาเหตุทำให้นมแพะเน่าเสียได้ง่าย แต่ปริมาณเชื้อในกลุ่มโคลิฟอร์มกลับพบว่าเครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัว พบการปนเปื้อนเชื้อโคลิฟอร์มเท่ากับ 600 cfu/ml ขณะเดียวกันวิธีการรีดด้วยมือพบว่ามีกรปนเปื้อนเชื้อ Coliform 1 cfu/ml Table 3

Table 3. Total viable count, Methylene blue reductase, Coliform and *E. Coli* in milk at different milking method

Parameter measurement	Hand milking	Smart machine milking	SE	p-value
Total viable count, $\times 10^6$ cfu/ml	8.4±11.88	0.62±0.87	8.46	0.5046
Methylene blue reductase, hr	5.5±2.1	7	1.5	0.5000
Coliform, cfu/ml	1 ^a	600 ^b	0	<0.0001
<i>E. coli</i> , cfu/ml	-	-	-	-

^{ab} means in the same row for each parameter with different superscripts are significantly different (P<0.0001)

โดยผลการศึกษาค้นพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำนมแพะที่นับได้จากน้ำนมที่รีดได้ด้วยมือ และเครื่องรีดนมมีค่าเท่ากับ $8.4 \pm 11.88 \times 10^6$ cfu/ml และ $0.62 \pm 0.87 \times 10^6$ cfu/ml ตามลำดับ ซึ่งตามสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติของประเทศไทย กำหนดการตรวจด้วยวิธี SPC ของน้ำนมแพะดิบควรอยู่ที่ ไม่เกิน 5×10^5 cfu/ml⁷ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำนมแพะที่รีดด้วยเครื่องจะมีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำนมแพะดิบประเทศไทย ในส่วนผลการทดสอบ methylene blue ของนมแพะผลการศึกษาค้นนี้พบว่าน้ำนมแพะที่รีดด้วยเครื่องรีด (7 ชั่วโมง) จะใช้เวลาในการเกิดสีที่นานกว่าการรีดด้วยมือ (5.5 ± 2.1 ชั่วโมง) แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และในการศึกษาค้นนี้ พบว่านมแพะที่รีดด้วยเครื่องรีดจะมีปริมาณ Coliform (600 cfu/ml) สูงกว่าการรีดด้วยมือ (1 cfu/ml) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาการใช้เครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวในครั้งนี้ พบว่าเครื่องรีดนมดังกล่าวสามารถช่วยลดระยะเวลาในการรีดนมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าปริมาณน้ำนมที่ได้จะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการรีดด้วยมือก็ตาม ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าเครื่องรีดนมดังกล่าวมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้แก่เกษตรกร โดยเฉพาะในด้านการประหยัดเวลาสอดคล้องกับการศึกษาการรีดนมโคด้วยเครื่องรีดนม พบว่าให้ปริมาณนมที่มากกว่าการรีดด้วยมือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ โดยปริมาณน้ำนมโคที่รีดได้อยู่ในช่วงระหว่างการทดลองเท่ากับ 2.0-7.5 ลิตร ต่อครั้งของการรีดนม และพบว่าการรีดนมโคด้วยเครื่องรีดนมยังช่วยลดระยะเวลาของการรีดนมโคลงได้มากกว่าการรีดนมโคด้วยมือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะเวลาในการรีดนมโคต่อตัวต่อครั้ง อยู่ในช่วง 3.0-8.0 นาที สาเหตุที่รีดได้เร็วเนื่องจากเครื่องรีดนมมีความสามารถในการดึงน้ำนมออกจากเต้านมโคได้เร็วกว่าวิธีการรีดมือ จึงถือเป็นวิธีที่ค่อนข้างเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในฟาร์มขนาดเล็ก⁸

ในด้านการศึกษาคูณภาพน้ำนมหลังการใช้เครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวในครั้งนี้ พบว่าการรีดนมด้วยเครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวส่งผลให้ได้น้ำนมที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่าการรีดด้วยมืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ของน้ำนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวิธีการรีดทั้งสองแบบ แสดงให้เห็นว่าเครื่องรีดนมดังกล่าวอาจมีผลต่อคุณภาพของน้ำนมในแง่ของปริมาณไขมัน แต่ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของน้ำนมแพะ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Filipovic and Kokaj³ และ Dang and Anand⁹ ที่พบว่าค่าไขมันน้ำนมจากวิธีการรีดด้วยเครื่องรีดนมโคจะสูงกว่าวิธีการรีดนมด้วยมือ โดยพบว่าไขมันนมโคเมื่อรีดนมโคด้วยเครื่องอยู่ในช่วงระหว่าง 3.59-6.55% และวิธีการรีดนมด้วยมือ 2.71-4.38% ตามลำดับ และโปรตีนนมที่รีดด้วยเครื่องรีดนมจะสูงกว่าวิธีการรีดนมด้วยมือ แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมพบว่าวิธีการรีดนมโคด้วยเครื่องจะได้ปริมาณของน้ำตาลแลคโตสสูงกว่า

วิธีการรีดนมโคด้วยมือ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แตกต่างจากการศึกษาของ Nakthong¹⁰ พบว่าไขมันนม โปรตีน และของแข็งไม่รวมไขมัน และจำนวนโซมาติกเซลล์ในน้ำนมแพะจากวิธีการรีดด้วยมือมีค่าสูงกว่าเครื่องรีดนมโดยเฉพาะไขมันนม โปรตีนนมจากวิธีการรีดด้วยมือจะมีค่าสูงกว่าเครื่องรีดนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจจะขึ้นอยู่กับอาหาร สายพันธุ์ Lactation และฤดูกาลที่รีดเก็บนม¹¹ และปริมาณน้ำตาลแลคโตสของผลการศึกษาค้างนี้สอดคล้องกับการทดสอบวิธีการรีดนมด้วยเครื่อง และวิธีการรีดนมด้วยมือในแพะนม¹⁰ และโคนม⁸ ที่ไม่พบว่าปริมาณน้ำตาลแลคโตสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Hemsworth¹² รายงานว่าการรีดนมโคด้วยเครื่องรีดอาจเกี่ยวข้องกับความเร็วและทำให้ผลผลิตและคุณภาพของน้ำนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เครื่องรีดนมโคได้รับการยอมรับโดยทั่วไปเนื่องจากการรีดนมปัจจุบันมีประสิทธิภาพมาก และการใช้แรงงานในฟาร์มลดลงได้อย่างมาก

การศึกษาค้างนี้พบว่าค่า SCC ในน้ำนมแพะที่รีดด้วยเครื่องและรีดด้วยมือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไทย (TAS 6006-2008) ซึ่งบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำนมที่ได้อยู่ในระดับที่ดี ซึ่งผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษา Zeng and Escobar¹³ และของ Nakthong¹³ ที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่า SCC ของวิธีการรีดนมแพะด้วยมือและรีดนมแพะด้วยเครื่อง โดยผลการศึกษาของ Nakthong¹⁰ พบว่าส่วนค่าโซมาติกเซลล์ในนมแพะที่รีดด้วยวิธีการรีดด้วยเครื่องรีดนมจะมี

ค่าต่ำกว่าการรีดนมแพะด้วยมือ ซึ่ง SCC ถือเป็นอีกค่าที่เป็นดัชนีชี้วัดเกี่ยวกับสุขภาพเต้านมของแพะที่รีดนมภายในฟาร์ม ซึ่งจะมีผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตน้ำนมของทั้งฟาร์ม และ Ying et al.¹⁴ รายงานว่าน้ำนมดิบของแพะที่มีค่า SCC >10⁶ cell/ml บ่งบอกให้ทราบถึงสุขภาพเต้านมแพะว่าดีหรือกำลังประสบปัญหาเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการ (Subclinical mastitis) เนื่องจากข้อมูลมีความแปรปรวนสูงจากการนำค่า SCC มาวิเคราะห์ทางสถิติหลังจากนำข้อมูลมาแปลงเป็นเลขฐาน log₁₀ ดังนั้นข้อมูลวิธีการรีดนมทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองนี้ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาในโคนม โดย Filipovic and Kokaj⁸ และ Dang and Anand⁹ พบว่าค่า SCC เฉลี่ยในนมที่รีดจากการรีดนมโคด้วยมือจะสูงกว่าการรีดด้วยเครื่องรีดนมโคเครื่องรีด แต่ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ โดย Harmon¹⁵ รายงานว่าค่า SCC มีความสัมพันธ์แบบผกผันเชิงเส้นกับปริมาณการผลิตน้ำนม เนื่องจากค่า SCC ที่สูงขึ้น บ่งชี้ว่าเต้านมของแม่โคแสดงอาการติดเชื้อ หรือป่วยเป็นโรคเต้านมอักเสบ และส่งผลให้คุณภาพผลผลิตน้ำนมลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Deluyker et al.¹⁶ พบว่าค่า SCC ที่สูงขึ้นบ่งชี้ถึงโรคเต้านมอักเสบทางคลินิกที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยโรคเต้านมอักเสบที่เกิดขึ้นสร้างความสูญเสียทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก และส่งผลกระทบโดยตรงกับเกษตรกร เช่น การผลิตนมที่ลดลง ราคานมที่ลดลง และต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากค่ายาที่นำมาใช้เพื่อการรักษาเต้านมโคให้กลับมามีสุขภาพที่ดีขึ้น¹⁷

แสดงให้เห็นว่าวิธีการใช้เครื่องรีดนมโคทดแทนวิธีการรีดนมมือสามารถช่วยให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมสามารถปรับปรุงการผลิตนมให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นและมีคุณภาพนมที่ถูกสุขลักษณะ การรีดนมด้วยเครื่องยังช่วยให้สุขภาพของผู้รีดนมดีขึ้น ลดอาการปวดเมื่อยจากการรีดนมด้วยมืออย่างหนัก

ผลการตรวจการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในน้ำนมจากการรีดนมด้วยมือและเครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวในครั้งนี้ พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม (TVC) และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา (Methylene blue reductase test) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งไม่พบเชื้ออีโคไลในน้ำนมที่รีดด้วยทั้งสองวิธี ซึ่งเป็นผลดีต่อคุณภาพและความปลอดภัยของน้ำนม ส่วนการปนเปื้อนเชื้อโคลิฟอร์มในน้ำนมที่รีดด้วยเครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวในปริมาณที่สูงกว่าการรีดด้วยมือ (600 cfu/ml เทียบกับ 1 cfu/ml) แม้จะไม่มีภาวะที่อันตรายทางสถิติ แต่จำเป็นต้องมีการจัดการด้านสุขอนามัยเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อโคลิฟอร์มให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจากการศึกษาของ Nakthong¹⁰ รายงานว่าการรีดนมด้วยมือจะมีค่าผลการนับจุลินทรีย์บนจานเลี้ยงเชื้อมีค่าต่ำกว่าการรีดด้วยเครื่องรีดนม โดยผลการนับจุลินทรีย์บนจานเลี้ยงเชื้อบ่งบอกถึงการความสะอาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดนมในฟาร์ม ความสะอาดร่างกายสัตว์ การปฏิบัติด้านสุขาภิบาล การรีดนม และการปนเปื้อนของเชื้อในน้ำนม โดย Zeng and Escobar¹³ การรีดนมด้วยมือจะมีความสะอาดมากกว่าการรีดด้วยเครื่องรีดนม

ในขณะที่ Filipovic and Kokaj⁸ ศึกษาจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบโคนมในประเทศโครเอเชีย พบว่า 92% ของตัวอย่างน้ำนมที่ใช้วิธีการรีดนมโคด้วยเครื่อง และตัวอย่างนมที่รีดนมโคด้วยมือ 45% มีค่าปริมาณจุลินทรีย์มีน้อยกว่า 100,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งปริมาณที่พบอยู่ในช่วงระหว่าง 0.23×10^5 ถึง 5.34×10^5 เซลล์ โดยปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยในนมที่รีดด้วยการรีดนมโคด้วยมือจะสูงกว่าวิธีการรีดด้วยเครื่องรีดนมโค แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การทดสอบ Methylene blue ของ Nakthong¹⁰ พบว่าการรีดเก็บนมแพะด้วยมือจะใช้ระยะเวลาในการเกิดสีจากผลการทดสอบ Methylene blue จะใช้ระยะเวลาที่ยาวนานกว่าการรีดด้วยเครื่องรีดนม ซึ่งการทดสอบ Methylene blue เป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบ เพื่อประเมินจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนม ซึ่งจุลินทรีย์จะทำปฏิกิริยาโดยดึงออกซิเจนจากน้ำนมและเปลี่ยนโครงสร้างโดยการรีดิวซ์ซึ่งสับเซตรทในช่วงที่จุลินทรีย์กำลังเจริญเติบโตในนม และเป็นสาเหตุให้สีของน้ำนมเมทิลีนบลูที่บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเกิดการเปลี่ยนแปลงสีไปตามระยะเวลา หลังจากที่ได้เติมน้ำยำนั่นลงไปในตัวอย่งน้ำนม⁶ โดยมาตรฐานการตรวจด้วยวิธี Methylene blue ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติของประเทศไทย แนะนำการเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำนมแพะควรมากกว่า 4 ชั่วโมง⁷ ในส่วนผลของปริมาณโคลิฟอร์มของการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nakthong¹⁰ ที่พบว่าการรีดนมด้วยเครื่องรีดนมอาจเพิ่มโอกาสการปนเปื้อนโคลิฟอร์มมากกว่าการรีดด้วยมือ ถึงแม้ว่าน้ำนมที่รีดด้วยเครื่องรีดนมจะมีปริมาณโคลิฟอร์ม



ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของไทย (TAS 6006-2008) (ไม่ควรพบมากกว่า 10^4 cfu/ml) แต่การพบปริมาณโคลิฟอร์มที่สูงกว่าการวัดด้วยมืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) บ่งชี้ถึงความจำเป็นในการปรับปรุงสุขอนามัยในการรีดนมด้วยเครื่องรีดนม ซึ่งการควบคุมการปนเปื้อนโคลิฟอร์มเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้น้ำนมที่มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องรีดนมจะสามารถรีดนมเฉลี่ยต่อการรีดนมสูงกว่าการรีดนมแพะด้วยมือ และการรีดนมแพะด้วยเครื่องนั้นจะดีกว่าการรีดนมแพะด้วยมือ ในขณะที่พบความแตกต่างของคุณภาพน้ำนม โดยเฉพาะไขมันนมที่เพิ่มขึ้น แต่โปรตีน, แลคโตส, SCC และจุลินทรีย์ในน้ำนมโดยวิธีการรีดนมทั้ง 2 แบบแตกต่างกันไม่มีความสำคัญ ขณะที่ปริมาณเชื้อในกลุ่มโคลิฟอร์มพบว่าเครื่องรีดนมแพะแบบเก็บข้อมูลผลผลิตรายตัวมีการปนเปื้อนเชื้อโคลิฟอร์มเท่ากับ 600 cfu/ml แต่วิธีการรีดด้วยมือ พบการปนเปื้อนเชื้อโคลิฟอร์ม 1 cfu/ml และไม่พบเชื้ออีโคไลจากวิธีการรีดทั้ง 2 วิธี สรุปได้ว่าการใช้เครื่องรีดนมแพะแทนการรีดนมแพะด้วยมือสามารถปรับปรุงคุณภาพนมที่ถูกสุขลักษณะ และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในฟาร์มเหมาะฟาร์มเลี้ยงแพะนมขนาดเล็ก แต่เกษตรกรต้องได้รับการแนะนำเกี่ยวกับวิธีการรีดนมด้วยเครื่อง เช่นการทำความสะอาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดนมในฟาร์ม ความสะอาดร่างกายสัตว์ การปฏิบัติด้านสุขาภิบาลการรีดนม เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อในน้ำนม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนประเภททุนสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental fund) ประจำปี 2567

เอกสารอ้างอิง

1. Wathes C, Kristensen HH, Aerts JM, Berckmans D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? Comput Electron Agric 2008;64:2-10.
2. Kaunkid S, Aurasopon A, Chantiratiku A. Automatic milk quantity recording system for small-scale dairy farms based on internet of things. Agriculture 2022;12:1877.
3. ดำรงค์ดี อาลัย, ทวีรัตน์ ก้อนเครือ, เทิดศักดิ์ อาลัย, ชยุต พลอยจิรภาส, บัณฑิตพงษ์ ศรีอำนาจ. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยการพัฒนาเครื่องรีดนมสำหรับรีดนมแพะเพื่อการเก็บข้อมูลผลผลิตแบบรายตัว. เพชรบุรี: สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี; 2567.
4. AOAC International. AOAC Official Method 991.14. Coliform and Escherichia coli Counts in Foods. Petrifilm E.coli/coliform count plate and petrifilm coliform count plate methods. 16th ed. Rockville: AOAC; 2012.
5. AOAC International. AOAC Official Method 986.33. Official Methods of Analysis. 20th ed. Rockville: AOAC; 2019.

6. Atherton HV, Newlander JA. Composition of milk. In: Chemistry and Testing of Dairy Products. 4th ed. Westport, CT: AVI Publishing Co; 1977.
7. Thai Agricultural Commodity and Food Standards (TACFS). Thai Agricultural Standard TAS 6006-2008: Raw goat milk. The Royal Gazette. 2008.
8. Filipovic D, Kokaj M. The comparison of hand and machine milking on small family dairy farms in central Croatia. [Internet]. 2009 [cited 2025 May 5] Available from: <http://www.lrrd.org/lrrd21/5/cont2105.htm>
9. Dang AK, Anand SK. Effect of milking systems on the milk somatic cell counts and composition. [Internet]. 2007 [cited 2025 May 5] Available from: <http://lrrd.org/lrrd19/6/dang19074.html>
10. Nakthong S. Composition and quality of hand-and machine-milked goat milk. In: Proceedings of the 1st Asian Dairy Goat Conference; 9 –1 2 April 2 0 1 2 ; Kuala Lumpur, Malaysia; 2012. p. 150–3.
11. Ljutovac K, Lagriffoul G, Paccard P, Guillet I, Chilliard Y. Composition of goat and sheep milk products: An update. Small Rumin Res 2008;79:57–72.
12. Hemsworth PH. Human-animal interactions in livestock production. Appl Anim Behav Sci 2003;81:185–98.
13. Zeng SS, Escobar EN. Effect of breed and milking method on somatic cell count, standard plate count and composition of goat milk. Small Rumin Res 1996;19:169–75.
14. Ying C, Wang HT, Hsu JT. Relationship of somatic cell count, physical, chemical and enzymatic properties to the bacterial standard plate count in dairy goat milk. Livest Prod Sci 2002;74:63–77.
15. Harmon RJ. Symposium: Mastitis and genetic evaluation for somatic cell count—Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. J Dairy Sci 1994;77:2103–12.
16. Deluyker HA, Gay JM, Weaver LD. Interrelationships of somatic cell count, mastitis, and milk yield in a low somatic cell count herd. J Dairy Sci 1993;76:3445–52.
17. Przysucha T, Grodzki H. The relationships between collection system, delivery size and season and somatic cells level count in raw milk classified to the highest quality classes. Electron J Pol Agric Univ 2004;7:1–9.

Chemical Composition and Antibacterial Activity of Plant Essential Oils against Human Pathogenic Bacteria

Apichart Hirunsuk^{1*} and Oratai Sukcharoen²

¹ Medical Technology Laboratory and Clinical Pathology, Phrachomklao Hospital

² Department of Biotechnology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

*Corresponding author; E-mail: a_zana@hotmail.com

Received: 22 April 2025 /Revised: 30 June 2025 /Accepted: 30 June 2025

Abstract

In this study, the chemical composition and antibacterial properties of plant essential oils (*Citrus hystrix* leaves, *Citrus maxima* peels, *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf leaves, *Illicium verum* Hooker seeds, and *Syzygium aromaticum* L. flower buds) were evaluated against human pathogenic bacteria. GC-MS was used to determine the composition of the essential oils, which were produced using hydrodistillation. The main constituents of *Citrus hystrix* and *Citrus maxima* essential oils were citronellal, while *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf, *Illicium verum* Hooker, and *Syzygium aromaticum* L. essential oils were geraniol, anethole, and eugenol, respectively. Based on the results of the disc diffusion method, the essential oil of *Syzygium aromaticum* L. inhibited all three bacterial strains (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, and *Staphylococcus aureus* ATCC 25923) with MICs of 0.234 to 0.938 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ and MBCs of 0.469 to 1.875 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$, which is less than gentamicin (MICs and MBCs of 0.117-0.938 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). *Syzygium aromaticum* L. essential oil exhibited the lowest MIC against *E. coli* ATCC 25922 (0.234 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), while *Cymbopogon citratus* essential oil showed the lowest MIC against *S. aureus* ATCC 25923 (0.117 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), the same MIC as gentamicin. All essential oils exhibited a bactericidal effect with an MBC/MIC ratio ranging from 1.0 to 2.0.

Keywords: antibacterial activity, essential oil, GC-MS analysis

Introduction

Staphylococcus aureus, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Escherichia coli* are important human pathogens that cause a wide range of illnesses and dramatically raise morbidity and mortality associated with healthcare. These bacteria continue to be a problem for healthcare systems around the world, especially as multidrug-resistant types become more common^{1,2}.

E. coli is typically harmless inhabitants of our gut, but certain strains, like O157:H7, can cause severe gastrointestinal issues with bloody diarrhea due to toxins, primarily spread through contaminated food/water or poor hygiene³. *P. aeruginosa* is an environmental bacterium that primarily infects immunocompromised individuals, causing various infections such as pneumonia, urinary tract infections, and wound infections, which are often transmitted through contact with contaminated surfaces or medical equipment⁴. While *S. aureus* commonly resides on human skin and nostrils, causing a range of infections from common skin boils and impetigo to more serious conditions like food poisoning, pneumonia, or even life-threatening sepsis, it is primarily transmitted through direct contact or contaminated objects⁵.

Antimicrobial resistance is a severe public health crisis^{6,7}, characterized by complex resistance mechanisms such as extended-spectrum beta-lactamase production in *E. coli*, multidrug resistance in *P. aeruginosa*, and methicillin resistance in *S. aureus*. In response to this crisis, scientific interest in natural compounds, including essential oils, as potential antimicrobial agents have significantly surged. Essential oils, which are volatile aromatic compounds extracted from plants, are particularly captivating due to their complex chemical compositions and established *in vitro* antimicrobial activity against various bacterial pathogens, including *E. coli*, *P. aeruginosa*, and *S. aureus*^{8,9}. Their mechanisms of action include disrupting bacterial cell membranes, inhibiting enzyme activity, interfering with metabolic processes, and preventing biofilm formation¹⁰. This multi-target approach may make it harder for bacteria to develop resistance compared to single-target antibiotics¹¹. Moreover, most essential oils are categorized as Generally Recognized as Safe (GRAS) by the United States Food and Drug Administration¹². Therefore, this study aimed to determine the inhibitory effect of essential oils from five plants (*Citrus hystris*, *Citrus maxima*, *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf, *Illicium verum* Hooker, and *Syzygium aromaticum* L.)

against the pathogenic bacteria (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, and *Staphylococcus aureus* ATCC 25923) and to evaluate the chemical composition of essential oils using GC-MS.

Material and method

1. Plants material and extraction

Five plants (*Citrus hystrix* leaves, *Citrus maxima* peels, *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf leaves, *Illicium verum* Hooker seeds and *Syzygium aromaticum* L. flower buds) were obtained from a local vegetable and fruit market in Bangkok, Thailand, in February, 2024, and were thoroughly washed with distilled water, air-dried at room temperature, and subsequently at 40°C until constant weight. The dried plants were homogenized into a fine powder. Essential oil were extracted by hydrodistillation using a Clevenger-style apparatus¹³ for three hours. After being extracted from 100 g of each plant, the essential oil was dried over anhydrous sodium sulfate and kept in a dark, tightly sealed vial at 4°C until further use. The essential oil yields were calculated in percentage (% v/w) relative to the starting dry plant material in three replications.

2. Preparation of bacterial organisms

The three bacterial strains, *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853,

and *S. aureus* ATCC 25923, stored at -20°C, were subcultured onto Sheep Blood Agar (SBA). The plates of bacterial strains were then incubated at 35°C for 24 hours. Subsequently, the bacterial cultures were transferred to Tryptic Soy Broth (TSB) and incubated at 35°C for 24 hours.

3. Disc diffusion method

The efficacy of essential oils in inhibiting bacterial growth was assessed using the disc diffusion method. Bacterial suspensions were prepared by culturing from SBA and adjusted to a turbidity equivalent to a 0.5 McFarland standard (approximately 1.5×10^8 CFU/ml) using sterile 0.85% saline solution. A sterile cotton swab was dipped into the bacterial suspension, and excess liquid was removed by pressing the swab. The bacterial suspension was then evenly streaked across the surface of Mueller-Hinton Agar (MHA) plates using a three plane streaking technique, with each plane at a 60-degree angle to ensure uniform distribution¹⁴. Sterile paper discs (6 mm diameter) were placed onto the inoculated MHA plates, and 3 µl of the essential oil being studied was dispensed onto each disc using an automatic pipette. For controls, a positive control used a 10 µg gentamicin antibiotic disc, while a negative control consisted of an untreated disc.

The inoculated plates were then incubated at 35°C for 24 hours. After incubation, the diameters of the clear zones (inhibitory zones) around each disc were measured using a vernier caliper in millimeters. The experiment was performed in triplicate, and the results were reported as the mean $\pm$ standard deviation. The inhibition zone diameter (IZD) of essential oil was measured and interpreted using the following criteria: no activity, IZD = 6 mm; weak activity, 6 mm < IZD < 10 mm; moderate activity, 10 mm < IZD < 20 mm; and strong activity, IZD > 20 mm.

4. Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) by micro-broth dilution method

The MIC was determined using the micro-broth dilution method in a 96-well microtiter plate, following the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) guidelines¹⁵ with few modifications. Serial two-fold dilutions of the essential oils, dissolved in 95% absolute ethanol, were prepared in Mueller-Hinton Broth (MHB) to achieve the final concentrations ranging from 0.029 to 7.500 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ in each well of the 96-well plate. The three bacterial strains were prepared by fresh sub-culture and diluted to a turbidity equivalent to a 0.5 McFarland standard (1.5×10^8 CFU/ml), and 20 μl of each

suspension was added to each well. Positive controls contained only the bacterial test strains in MHB, while solvent controls included bacterial test strains in MHB with 2% ethanol. Wells with antibiotic (gentamicin) for comparison contained concentrations ranging from 0.029 to 3.750 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$. Additionally, wells containing only MHB were included as negative controls. Each 96-well plate was shaken horizontally and then incubated at 35°C for 24 hours. The results were recorded, and the MIC was determined as the lowest concentration of essential oil at which no visible bacterial growth was observed, indicated by the absence of turbidity. The experiment was performed in triplicate.

Samples from the MIC testing, which showed inhibition of bacterial growth, were streaked onto Sheep Blood Agar (SBA) plates using the streak plate technique. The plates were then incubated at 35°C for 24 hours. The results were recorded. If the essential oil concentration was bactericidal (able to kill bacteria), no bacterial growth would be observed on the agar plate. The concentration at which no growth was observed was reported as the MBC. The estimation of the MBC/MIC ratio describes the bactericidal effect ($\text{MBC/MIC} < 4$) or bacteriostatic effect ($\text{MBC/MIC} \geq 4$) of the test essential oil. Each experiment was repeated three times.

5. GC-MS analysis of essential oil

GC-MS was used to establish the essential oil's composition. An Agilent 6890 gas chromatograph operating in electron impact mode (70 eV) was utilized for this investigation. It was connected to an Agilent 5973 mass selective detector and has a fused silica capillary column (HP-5MS; 30.0 m x 0.25 mm i.d. and 0.25 m film thickness). The carrier gas, helium, flowed at a rate of 1.0 ml/min. The oven temperature was set to rise from 100°C at a rate of 3°C/min to 188°C, then to 280°C at a rate of 20°C/min, with a final hold period of three minutes. The temperatures of the injector and detector were kept at 280°C. The ionization source temperature was set to 200°C, and chromatograms were screened in scan mode from m/z 50 to 500 at a rate of 3.25 scan/s. In split mode, 0.2 μ l of diluted samples were injected at a ratio of 1: 50. By comparing their mass spectra with those from the MS database (National Institute of Standards and Technology, NIST 98 and Wiley 7n.1 Libraries), the components were identified. The relative percentages of essential oil constituents were expressed as a percentage by peak area normalization.

6. Statistical analysis

An analysis of variance (ANOVA) was used to determine statistical significance based on two factors: (1) essential oil type and (2) essential oil concentration. The three

replicates' means plus standard deviations were used to express the data using SPSS for Windows. Tukey's post hoc test, which uses multiple comparison tests to identify significant differences between mean values, was used to conclude that a difference of $p < 0.05$ was significant.

Results

1. Yield of essential oil

By hydrodistillation, five plants with varying amounts of essential oil were identified from 100 g of dried plants. Essential oil yields on dry weight ranged from 0.25% to 4.50% (v/w). *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf produced the highest yield ($4.50 \pm 0.00\%$), followed by *Syzygium aromaticum* L. ($4.13 \pm 0.15\%$), *Citrus hystrix* ($1.82 \pm 0.05\%$), *Illicium verum* Hooker ($0.80 \pm 0.00\%$), and *Citrus maxima* ($0.25 \pm 0.05\%$).

2. GC-MS analysis of plant essential oils

The chemical composition of five plant essential oils was analyzed by GC-MS. Table 1 shows the total essential oil compositions and the main constituents with concentrations more than 10%. A total of 10 compounds were identified in *Citrus hystrix* essential oil, with citronellal (84.22%) being the main compound. *Citrus maxima* essential oil contained citronellal (15.86%) and germacrene-D (13.92%) as its main compounds. Twenty-five compounds were identified in the *Cymbopogon citratus*

(DC.) Stapf essential oil, including geraniol (37.29%) and neral (24.63%) as the main compounds. Trans-anethole (92.65%) was the main compound in *Illicium verum* Hooker

essential oil. For *Syzyglum aromaticum* L. essential oil, the main compounds were eugenol (74.64%), eugenol acetate (13.18%), and trans-caryophyllene (10.64%).

Table 1. The total composition and major components of essential oils

Essential oil	Total Compound	Main Composition ^a
<i>Citrus hystrix</i>	10	Citronellal (84.22%)
<i>Citrus maxima</i>	10	Citronellal (15.86%), Germacrene-D (13.92%)
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	25	Geraniol (37.29%), Neral (24.63%), Selina-6-en-4-ol (21.86%)
<i>Illicium verum</i> Hooker	12	Trans-anethole (92.65%)
<i>Syzyglum aromaticum</i> L.	9	Eugenol (74.64%), Eugenol acetate (13.18%), Trans-Caryophyllene (10.64%)

^a the main composition found are more than 10%

3. Disc diffusion method

The antimicrobial activity of five essential oils was evaluated against three bacterial strains: *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853, and *S. aureus* ATCC 25923, using the disc diffusion method. Table 2 presents the inhibition zone diameters (IZD) in millimeters (mm) with standard deviations (SD). For the disc diffusion method in this study, *Syzygium aromaticum* L. essential oil showed the broadest inhibition of activity, inhibiting all three bacterial strains. The highest IZD for this oil was significantly

($p < 0.05$) inhibited against *E. coli* ATCC 25922 (10.6±0.13 mm) with moderate activity. It also showed moderate activity against *S. aureus* ATCC 25923 (11.5±0.05 mm) and weak activity inhibition against *P. aeruginosa* ATCC 27853 (6.25±0.05 mm). *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf and *Citrus hystrix* essential oils showed weak inhibition against *E. coli* ATCC 25922 (9.55±0.20 mm and 9.37±0.19 mm, respectively) and moderate inhibition against *S. aureus* ATCC 25923 (14.37±0.08 mm and 12.43±0.12 mm, respectively). *Citrus maxima*

and *Illicium verum* Hooker essential oils displayed weak activity against *E. coli* ATCC 25922 and *S. aureus*, ATCC 25923, with lower IZD values. *P. aeruginosa* ATCC 27853 exhibited significant resistance to all tested essential oils except for *Syzygium aromaticum* L. essential oil, which showing some inhibition, with weak activity (6. 25±0. 05 mm) . Gentamicin, as a standard antibiotic, exhibited

significantly ($p < 0.05$) higher activity than the essential oils. The results indicate that *Syzygium aromaticum* L. , *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf, and *Citrus hystrix* essential oils possess promising antimicrobial properties. The broad-spectrum activity of *Syzygium aromaticum* L., especially against *P. aeruginosa* ATCC 27853.

Table 2. Inhibition zone diameters (IZD) of essential oils.

Essential oil	Inhibition zone diameter (IZD; mm ± SD)		
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Staphylococcus</i>
	ATCC 25922	<i>aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>aureus</i> ATCC 25923
<i>Citrus hystrix</i>	9.37±0.19	NI	12.43±0.12
<i>Citrus maxima</i>	6.22±0.10	NI	8.02±0.13
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.)Stapf	9.55±0.20	NI	14.37±0.08
<i>Illicium verum</i> Hooker	7.07±0.03	NI	6.33 ± 0.03
<i>Syzygium aromaticum</i> L.	10.6 ±0.13	6.25 ± 0.05	11.5 ± 0.05
Gentamicin (10µg)	19.25±0.13	22.23±0.38	21.39±0.30
Negative control	NI	NI	NI

NI = No Inhibition zone

4. Determining the MIC and MBC of the essential oils by micro-broth dilution method

The antibacterial activity of five essential oils was quantified in terms of MIC and MBC values. The results were shown in Table 3. Table 3 presents the MIC and MBC that were obtained using the micro-broth

dilution method in order to confirm and quantify its antibacterial potency. The more sensitive *E. coli* ATCC 25922 had an MIC between 0. 234 and 3. 750 µg/ µl. The resistance of *P. aeruginosa* ATCC 27853 was higher in the range of 0. 938 to 7.500 µg/µl compared to *E. coli* ATCC 25922

and *S. aureus* ATCC 25923. *Syzygium aromaticum* L. essential oil exhibited the lowest MIC against *E. coli* ATCC 25922 (0.234 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), while *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf essential oil showed the lowest MIC against *S. aureus* ATCC 25923 (0.117 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), the same MIC as gentamicin. *Illicium verum* Hooker essential oil

showed the highest MIC and MBC values across all tested bacteria, indicating comparatively lower activity. While gentamicin generally exhibited lower MIC and MBC values, the essential oils demonstrated notable antimicrobial activity, particularly *Syzygium aromaticum* L. and *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf essential oil.

Table 3. Antibacterial activity of plant essential oils by micro-broth dilution.

Essential oil	<i>Escherichia coli</i>		<i>Pseudomonas</i>		<i>Staphylococcus</i>	
	ATCC 25922		<i>aeruginosa</i> ATCC 27853		<i>aureus</i> ATCC 25923	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
	($\mu\text{g}/\mu\text{l}$)	($\mu\text{g}/\mu\text{l}$)	($\mu\text{g}/\mu\text{l}$)	($\mu\text{g}/\mu\text{l}$)	($\mu\text{g}/\mu\text{l}$)	($\mu\text{g}/\mu\text{l}$)
<i>Citrus hystrix</i>	0.469b	0.938b	3.750a	3.750a	0.938a	1.875a
<i>Citrus maxima</i>	1.875a	1.875a	3.750a	3.750a	0.938a	0.938b
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.)Stapf	0.469b	0.469c	7.500b	7.500b	0.117b	0.234c
<i>Illicium verum</i> Hooker	3.750a	3.750a	7.500b	7.500b	7.500a	7.500a
<i>Syzygium aromaticum</i> L.	0.234c	0.469c	0.938c	1.875c	0.938a	1.875a
Gentamicin	0.234c	0.234d	0.938c	0.938c	0.117b	0.117d
Negative control	-	-	-	-	-	-

Differences in superscript letters in the column indicate significant difference ($p < 0.05$).

Discussion

Previous studies have shown the different yields and chemical compositions of essential oils produced from various plant materials. In this study, *Citrus maxima* essential oil was found to have citronella (15.86%) as the main compound. This result is in contrast to other research that has been published, which showed that D-limonene

(86.4%) was the main component in 0.31% of the yield¹⁶. However, the results from the other essential oil that was examined in this study were similar to previous research.

Citrus hystrix essential oil yield was about 1%, with citronellal of 85.4%¹⁷. *Cymbopogon citratus* essential oil yields was around 1.4%, and is characterized by geraniol

(37.1%)¹⁸. *Illicium verum* seeds offer a substantial essential oil yield of 4.13%, with trans-anethole (83.46%) being the main constituent¹⁹. *Syzygium aromaticum* generally yields a high amount of essential oil, averaging 11.6% (w/w)²⁰. Its main compound is eugenol (78.72%), followed by β -caryophyllene (8.82%) and eugenyl acetate (8.74%). It's important to note that variations in the chemical composition reported in different literature can be attributed to numerous factors. These include genetic variety, geographic location, agronomic and environmental conditions, and the extraction methods used²¹.

Previous research on the antimicrobial activity of essential oils from *Citrus hystrix* leaves, *Citrus maxima* peels, *Cymbopogon citratus* leaves, *Illicium verum* seeds, and *Syzygium aromaticum* flower buds frequently reports their MIC and MBC against various pathogenic microorganisms. These values provide insights into their potential as antimicrobial agents, while the MBC/MIC ratio helps classify their mode of action. *Syzygium aromaticum* flower bud essential oil is widely recognized as one of the most potent natural antimicrobial agents among essential oils, primarily due to its exceptionally high eugenol content. It exhibits very low MIC and MBC values,

demonstrating strong bactericidal activities. Specifically, MICs ranging from 1.36 to 2.72 mg/ml and MBCs varying from 5.45 to 10.9 mg/ml have been reported against enteropathogenic bacteria²⁰. Furthermore, an MIC of 0.23 mg/mL against *E. coli* ATCC 35218²² and 0.2 mg/ml²³ against *E. coli* ATCC 35218, with an MBC of 3.12 mg/ml²³, have also been noted.

Cymbopogon citratus essential oil is widely known for its broad-spectrum antimicrobial activity, include several multidrug-resistant Gram-negative bacterial strains such as *P. aeruginosa*, *E. coli*, *Enterobacter cloacae*, *Morganella morganii*, *Proteus mirabilis* or *Burkholderia cepacia*²⁴. Antibacterial activity of the essential oil from *Cymbopogon citratus* reported its potent activity against Gram-positive bacteria compared to Gram-negative bacteria²⁵. Essential oil from *Cymbopogon citratus* showed no inhibition activity against *P. aeruginosa* CRBIP 19.249 and more than 80 mg/ml of MIC. MIC of *S. aureus* ATCC 9144 and *E. coli* CIP 105182 showed 2.5 and 10 mg/ml, respectively, as a bactericidal effect²⁶. *P. aeruginosa* demonstrated the highest resistance via disc diffusion and also exhibited the highest MIC and MBC values when compared to other tested microorganisms²⁶. Geraniol is the main

compound of *Cymbopogon citratus* essential oil, causes perturbation in the lipid fraction of the plasma membrane of the microorganism, which results in alterations of the permeability of the membrane and consequently in cellular death by plasmolysis²⁷.

Trans-anethole dominates the essential oil of *Illicium verum*, which has strong antibacterial activity, particularly against bacteria and fungi. However, it is generally expected that the sensitivity of Gram-positive bacteria is higher than that of Gram-negative bacteria. Gram-positive bacteria (*S. aureus* and *S. epidermidis*) are sensitive compared to Gram-negative bacteria (*Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, and *E. coli*)¹⁹. The essential oil of *Illicium verum* has shown efficacy against *Salmonella enterica* CECT 443, *Listeria monocytogenes* CECT 933, *S. aureus* ATCC 6538, *B. subtilis* CIP 5265, and *E. coli* ATCC 35218 with an inhibitory zone of more than 9 mm. *Illicium verum* essential oil and trans-anethole both is showed bacteriostatic efficacy against eight tested Gram-positive and Gram-negative food pathogenic bacteria, according to their MIC/MBC ratios²⁸. This study showed that the essential oil of *Illicium verum* Hooker had bacterial activity on all test pathogenic bacteria. It was more

efficient against the *E. coli* strain, with an inhibitory zone diameter of 7.07 mm and an MIC and MBC of 3.70 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$.

Citrus hystrix essential oil has been shown in experiments to inhibit the growth of bacteria. *P. aeruginosa* ATCC 27853 (22.17 mm inhibition diameter), *B. cereus* ATCC 11778 (16.18 mm inhibition diameter), and *S. aureus* ATCC 25923 (22 mm inhibition diameter) had the strongest inhibitory effects. Additionally, the essential oil demonstrated bactericidal activity against a range of respiratory and resistance to multiple drugs. Gram-positive bacteria (MIC, 1.3 to 5.3 mg/ml) were more susceptible to the effects of *Citrus hystrix* essential oil than Gram-negative bacteria (MIC, 1.2 to 16.0 mg/ml). Nevertheless, neither the broth microdilution nor the agar disk showed any action against *P. aeruginosa*²⁹. This research study indicates that the essential oils examined are more effective at inhibiting *E. coli*. ATCC 25922 and *S. aureus* ATCC 25923 than *P. aeruginosa* ATCC 27853. This observation aligns consistently with other scientific investigations, which frequently highlight *P. aeruginosa* as a particularly challenging Gram-negative bacterium, notorious for its inherent resistance to a wide spectrum of antibiotics, various antimicrobials, and even essential oils¹⁰.

The essential oil of *Citrus maxima* exhibited antibacterial activity against *E. coli*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis*, *S. aureus*, *B. licheniformis*, and *B. altitudinis*¹⁶. The antibacterial activity of *Citrus maxima* essential oil was against Gram-positive bacteria (*S. aureus* ATCC 25923 and *S. epidermidis* ATCC 12228) by inhibition diameter of 19.3 mm and Gram-negative bacteria (*E. coli* ATCC 25922 and *S. dysenteriae* ATCC 13313) by inhibition diameter of 8.3 and 11.7 mm, respectively. While the inhibition zones of *Citrus maxima* essential oil against *S. aureus* ATCC 25923, *S. aureus* ATCC 43300, and MRSA isolates were 10.0, 9.0, and 9.9 mm, respectively, indicating a weak activity. The MBC/MIC value against *S. aureus* ATCC 43300, and *S. aureus* ATCC 25923 was 0.8 and 1.3, respectively, as a bactericidal effect³⁰.

Essential oils contain numerous active components, including citronellal, geraniol, anethole, and eugenol. It is highly probable that their mode of action involves multiple targets within the bacterial cell^{31,32}. A key aspect of their antibacterial mechanism is the hydrophobicity of essential oils. This property allows them to partition into the bacterial cell membrane and mitochondria, rendering them permeable and leading to leakage of cell contents^{33,34}.

Citronella and geraniol as major components in these essential oils, a characteristic supported by previous research on their antimicrobial properties^{32,34}. Anethole demonstrates inhibitory effects against various bacteria, including *E. coli*, *P. aeruginosa*, and *S. aureus*, through multiple mechanisms such as disrupting bacterial cell membranes and inhibiting biofilm formation, as demonstrated in previous research^{35,36}. Eugenol effectively inhibits both *E. coli* ATCC 25922 and *S. aureus* ATCC 25923 through a critical mechanism to damages the structure and disrupts the vital functions of the bacterial outer cell membrane. In the case of *E. coli* ATCC 25922, this leads to the leakage of essential intracellular components, ultimately causing cell death³¹. For *S. aureus* ATCC 25923, eugenol not only inhibits growth but also prevents the formation of biofilms, which are protective layers that make bacteria more resistant to treatment³⁷. Furthermore, the significance of eugenol extends to its reported ability to inhibit the growth and biofilm formation of *P. aeruginosa*. This is a crucial finding because biofilm formation is a primary mechanism by which *P. aeruginosa* establishes chronic infections and develops its formidable drug resistance. Biofilms act as a physical barrier, reducing antibiotic penetration and promoting the survival of

resistant bacterial strains within the protective matrix³⁸. The ability of eugenol to disrupt this mechanism suggests a potential avenue for combating this highly problematic pathogen³⁹. Despite the inherent resistance of *P. aeruginosa* ATCC 27853, it is important to note that the experiments in this study found that the essential oils examined, including those less effective against *P. aeruginosa* ATCC 27853 than against *E. coli* ATCC 25922 and *S. aureus* ATCC 25923. In this study, all essential oils exhibited a bactericidal effect against *E.coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853 and *S. aureus* ATCC 25923, with an MBC/MIC ratio ranging from 1.0 to 2.0.

Conclusion

This research provides valuable quantitative data for *Syzygium aromaticum* L. and *Cymbopogon citratus* essential oils, which possess strong antimicrobial potential. *P. aeruginosa* ATCC 27853 of resistance is consistent with its known resilience. Further research should explore these essential oils mechanisms and applications as natural antimicrobials, particularly against resistant bacteria.

Acknowledgement

The authors would like to thank the Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

and Phrachomkiao Hospital for providing material and research facilities.

References

1. Soni J, Sinha S, Pandey R. Understanding bacterial pathogenicity: a closer look at the journey of harmful microbes. *Front Microbiol* 2024;15:1370818.
2. Antonelli G, Cappelli L, Cinelli P, Cuffaro R, Manca B, Nicchi S, et al. Strategies to tackle antimicrobial resistance: the example of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Int J Mol Sci* 2023;22:4943.
3. Ena J, Arjona F, Martínez-Peinado C, López-Perezagua MM, Amador C. Epidemiology of urinary tract infections caused by extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli*. *Urology* 2006;68:1169-74.
4. Kunz Coyne AJ, El Ghali A, Holger D, Rebold N, Rybak MJ. Therapeutic Strategies for Emerging Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Infect Dis Ther* 2022;11:661-82.
5. Stryjewski ME, Corey GR. Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*: An Evolving Pathogen. *Clin Infect Dis* 2014;58(Suppl 1):S10-9.



6. Salam MA, Al-Amin Y, Salam MT, Pawar JS, Akhter N, Rabaan AA, et al. Antimicrobial Resistance: A Growing Serious Threat for Global Public Health. *Healthcare* 2023;11:1946.
7. Aljeldah MM. Antimicrobial Resistance and Its Spread Is a Global Threat. *Antibiotics* 2022;11:1082.
8. Chouhan S, Sharma K, Guleria S. Review antimicrobial activity of some essential oils-present status and future perspectives. *Medicines (Basel)* 2017;4:58.
9. Galgano M, Capozza P, Pellegrini F, Cordisco M, Sposato A, Sblano S, et al. Antimicrobial activity of essential oils evaluated *in vitro* against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Antibiotics (Basel)* 2022;11:979.
10. El-Tarabily KA, El-Saadony MT, Alagawany M, Arif M, Batiha GE, Khafaga AF, et al. Using essential oils to overcome bacterial biofilm formation and their antimicrobial resistance. *Saudi J Biol Sci* 2021;28:5145–56.
11. Mihalache R, Dumitrescu R, Popa M, Vasile G, Vasile C. Evaluation of the antimicrobial activity of some essential oils against multi-drug resistant bacterial strains. *Rom Biotechnol Lett* 2019;24:292-300.
12. Jackson-Davis A, White S, Kassama LS, Coleman S, Shaw A, Mendonca A, et al. A review of regulatory standards and advances in essential oils as antimicrobials in foods. *J Food Prot* 2023;86:100025.
13. Clevenger JF. Apparatus for the determination of volatile oil. *J Am Pharm Assoc* 1928;17:345-9.
14. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. 29th ed. CLSI supplement M100S. Wayne, PA; 2019.
15. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard. 10th ed. CLSI document M07-A10. Wayne, PA; 2015.
16. Chen Y, Li T, Bai J, Nong L, Ning Z, Hu Z, et al. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Citrus maxima* (Burm.) Merr. Cv. Shatian Yu. *J Biol Act Prod Nat* 2018;8:228–33.
17. Hien TT, Quyen NTC, Truc TT, Quan PM. Evaluate the chemical composition of Kaffir lime (*Citrus hystrix*) essential oil using the classical method. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng* 2020;991:012028.

18. Dangol S, Poudel DK, Ojha PK, Maharjan S, Poudel A, Satyal R, et al. Essential oil composition analysis of *Cymbopogon* species from Eastern Nepal by GC-MS and chiral GC-MS, and antimicrobial activity of some major compounds. *Molecules* 2023;28:543.
19. Outemsaa B, Oubihi A, Jaber H, Haida S, Kenfaoui I, Ihamdan R, et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of the essential oil of *Illicium verum*. *E3S Web Conf* 2021;319:01004.
20. Selles SMA, Kouidri M, Belhamiti BT, Amrane AA. Chemical composition, in-vitro antibacterial and antioxidant activities of *Syzygium aromaticum* essential oil. *J Food Meas Charact* 2020;14:2352–8.
21. Elgayyar M, Draughon FA, Golden DA, Mount JR. Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. *J Food Prot* 2001;64:1019-24.
22. Ayoola GA, Lawore FM, Adelowotan T, Aibinu IE, Adenipekun E, Coker HAB, et al. Chemical analysis and antimicrobial activity of the essential oil of *Syzygium aromaticum* (clove). *Afr J Microbiol Res* 2008;2:162–6.
23. Alitonou AG, Tchobo FP, Avlessi F, Yehouenou B, Yedomonhan P, Koudoro AY, et al. Chemical and biological investigations of *Syzygium aromaticum* L. essential oil from Benin. *Int J Biol Chem Sci* 2012;6:1360-7.
24. Vasireddy L, Bingle LEH, Davies MS. Antimicrobial activity of essential oils against multidrug-resistant clinical isolates of the Burkholderia Cepacia complex. *PLoS One* 2018;13:e0201835.
25. Boukhatem MN, Ferhat MA, Kameli A, Saidi F, Kebir HT. Lemon grass (*Cymbopogon citratus*) essential oil as a potent anti-inflammatory and antifungal drugs. *Libyan J Med* 2014;9:25431.
26. Bassolé IHN, Lamien-Meda A, Bayala B, Obame LC, Ilboudo AJ, Franz C, et al. Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils alone and in combination. *Phytomedicine* 2011;18:1070-4.
27. Trombetta D, Castelli F, Sarpietro MG, Venuti V, Cristani M, Daniele C, et al. Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrob Agents Ch* 2005;49:2474–8.

28. Noumi E, Ahmad I, Adnan M, Patel H, , Merghni A, Haddaji N, et al. *Illicium verum* L. (Star Anise) Essential Oil: GC/MS Profile, Molecular Docking Study, In Silico ADME Profiling, Quorum Sensing, and Biofilm-Inhibiting Effect on Foodborne Bacteria. *Molecules* 2023;28:7691.
29. Naibaho NM, Safitri ASM, Rudito, Popang EP, Syauqi A, Saragih B, et al. Chemical composition and antibacterial activity of essential oil kaffir lime (*Citrus hystrix* DC) leaves from East Borneo. *Food Res* 2024;8:250-6.
30. Sreepian A, Sreepian PM, Chanthong C, Mingkhwancheep T, Prathit P. Antibacterial activity of essential oil extracted from *Citrus hystrix* (Kaffir Lime) peels: An *in vitro* study. *Trop Biomed* 2019;36:531-41.
31. Jeyakumar E, Lawrence R. Mechanisms of bactericidal action of eugenol against *Escherichia coli*. *J Herb Med* 2021;26:1-6.
32. Millezi FM, Pereira MO, Batista NN, Camargos N, Auad I, Cardoso MDG, et al. Susceptibility of monospecies and dual-species biofilms of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* to essential oils. *J Food Safety* 2012;32:351-9.
33. Saputra NA, Trisatya DR, Darmawan S, Wibisono HS, Pari G. Effect citronella oil against bacteria strains: *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 and *Salmonella typhimurium* ATCC 14028. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2020;460:012027.
34. Gu K, Ouyang P, Hong Y, Dai Y, Tang T, He C, et al. Geraniol inhibits biofilm formation of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and increase the therapeutic effect of vancomycin *in vivo*. *Front Microbiol* 2022;13:960728.
35. Isao K, Fujita K, Nihei K. Antimicrobial activity of anethole and related compounds from aniseed. *J Sci Food Agric* 2008;88:242-7.
36. Yang JF, Yang CH, Chang HW, Yang CS, Wang SM, Hsieh MC, et al. Chemical composition and antibacterial activities of *Illicium verum* against antibiotic-resistant pathogens. *J Med Food* 2011;14:1192-200.
37. Tang C, Chen J, Zhang L, Zhang R, Zhang S, Ye S, et al. Exploring the antibacterial mechanism of essential oils by membrane permeability, apoptosis and biofilm formation combination with proteomics analysis against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Int J Med Microbiol* 2020;31:151435.



38. Reichling J. Anti-biofilm and virulence factor-reducing activities of essential oils and oil components as a possible option for bacterial infection control. *Planta Med* 2020;86:520–37.

39. Marchese A, Orhan IE, Daglia M, Barbieri R, Di Lorenzo A, Izzo AD, et al. Antimicrobial activity of eugenol and essential oils containing eugenol: A mechanistic viewpoint. *Crit Rev Microbiol* 2017;43:668-89.

อาหารสมทบจากขนไก่พื้นเมืองป่นเพื่อเลี้ยงปลากินพืชในรูปแบบการเลี้ยงกึ่งพัฒนา

Supplemental Feed from Hydrolysis Feather Meal for Rearing Herbivore Fish in Semi-Intensive Culture System.

พรทิตา ทองสนธิกาญจน์

Pornitisa Thongsanitkan

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Program of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Petchabun Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: pornitisa.tho@pcru.ac.th

Received: 23 May 2025 /Revised: 26 June 2025 /Accepted: 30 June 2025

บทคัดย่อ

กลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่เลี้ยงปลาด้วยรูปแบบพื้นบ้าน ปลาโตช้า ใช้เวลานาน ผลผลิตน้อย ผลิตและจำหน่ายได้เพียง 1 รอบ/ปี ฉะนั้นเพื่อให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น จึงต้องเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา โดยใช้อาหารสมทบจากขนไก่ป่น ซึ่งเป็นเศษเหลือจากการแปรรูปไก่ นำมาย่อยด้วยเอนไซม์ธรรมชาติ เพื่อให้เกษตรกรดำเนินการได้เอง และเพื่อศึกษาผลของอาหารสมทบจากขนไก่พื้นเมืองป่นในการเลี้ยงปลากินพืชแบบกึ่งพัฒนา วางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยไม่ให้อาหารสมทบ อาหารสมทบจากขนไก่ป่นหมักด้วยแกนสับปะรด อาหารสมทบจากขนไก่ป่นหมักด้วยเปลือกมะละกอดิบ อาหารสมทบจากอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ขนไก่ป่นหมักด้วยแกนสับปะรด และอาหารสมทบจากอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ขนไก่ป่นหมักด้วยเปลือกมะละกอดิบ ให้อาหารในปริมาณ 5% ของน้ำหนักตัวต่อวัน วันละ 2 มื้อ ชั่งน้ำหนักและเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปลาตะเพียนขาวที่ได้รับอาหารสมทบในทุกรูปแบบมีการเจริญเติบโตดีกว่าไม่ให้อาหารสมทบ และอาหารสมทบในทุกรูปแบบมีผลต่อค่าการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การใช้ขนไก่พื้นเมืองป่นเป็นอาหารสมทบในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวแบบกึ่งพัฒนา มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาที่ดีกว่าการไม่ให้อาหารสมทบ และอาหารสมทบในรูปแบบอาหารผสมสำเร็จให้ผลดีกว่าอาหารสมทบประเภทแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียว การใช้ขนไก่พื้นเมืองป่นเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ เป็นทางเลือกให้ได้อาหารปลาที่มีราคาต่อ กิโลกรัมต่ำกว่าอาหารสำเร็จรูปทางการค้า

คำสำคัญ: อาหารสมทบ ขนไก่ป่น ปลากินพืช

Abstract

A group fish farmer raises fish using an extensive culture system. The fish grow slowly, take a long time, to reach market size, and yield low production. They can produce and sell fish only once per year. Therefore, in order to increase production, they must raise them in a semi-intensive culture system, using supplemental feed made from feather meal, a byproduct of chicken processing, digested using natural enzymes, allowing farmers to process it themselves, and investigated the effects of using native chicken feather meal as a supplemental feed for raising fish in a semi-intensive culture. A completely randomized design (CRD) with three replications was used, consisting of five treatments: no supplemental feed, feather meal marinated with pineapple cores, feather meal marinated with raw papaya peels, complete feed made from feather meal marinated with pineapple cores, and complete feed made from feather meal marinated with raw papaya peels. Fish were fed at a rate of 5% of their body weight per day, divided into two feedings. Weight and growth data were collected every 2 weeks for 8 weeks. It was found that silver barb fed with supplemental feed in all forms had better growth than those not fed with supplemental feed. All forms of supplemental feed had a statistically significant effect on growth ($P < 0.05$). The use of ground native chicken feather meal as a supplemental feed in semi-intensive silver barb farming has a better effect on fish growth and survival rate than not providing supplemental feed. Supplemental feed in the form of complete feed yielded better results than feather meal used as a protein source alone. The use of ground native chicken feather meal as a raw material for aquatic animal feed is an alternative to obtaining fish feed with a lower price per kilogram than commercial feed.

Keywords: Supplemental feed, Feather meal, Herbivore fish

บทนำ

อาหารถือเป็นแหล่งรวมโภชนะหรือสารอาหาร (nutrients) ต่าง ๆ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และการสร้างภูมิคุ้มกันเพื่อต้านทานโรค ซึ่งสัตว์น้ำจะมีความต้องการโภชนะที่แตกต่างกันไปตามชนิด ช่วงอายุ และขนาดของสัตว์น้ำ¹ และโปรตีนเป็นโภชนะหลักที่สำคัญที่สุดสำหรับสัตว์น้ำ โดยความต้องการโปรตีนของสัตว์น้ำนั้น คือ เป็นโครงสร้างสำคัญในเนื้อเยื่อและอวัยวะของสัตว์น้ำ ในร่างกายของสัตว์ต้องการโปรตีนตลอดช่วงชีวิตในระดับที่ต่างกันไปตามขนาด ช่วงอายุ และชนิดของสัตว์น้ำ โดยสัตว์น้ำวัยอ่อนจะมีความต้องการโปรตีนในระดับปริมาณที่สูงกว่าสัตว์น้ำที่เติบโตเจริญวัยแล้ว สัตว์น้ำมีความต้องการโปรตีนเช่นเดียวกับสัตว์บกทั่ว ๆ ไป เพื่อซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการสร้างฮอร์โมน สร้างเอนไซม์ในระบบต่าง ๆ ของร่างกายตลอดจนสร้างองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ โดยสารอาหารโปรตีนนั้น สัตว์น้ำจะได้รับจากอาหารทั้งอาหารธรรมชาติ และอาหารสำเร็จรูป ซึ่งวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนของอาหารสำเร็จรูปนั้นมาจากหลายแหล่งที่มา เช่น แหล่งโปรตีนจากพืชมาจากกากถั่วเหลือง แหล่งโปรตีนจากสัตว์มาจาก ปลาป่น แกลบกุ้ง ขนไก่ป่น เป็นต้น²

ขนไก่ป่น (feather meal) เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้จากการนำขนไก่สด ซึ่งเป็นผลพลอยได้หรือเศษเหลือทิ้งจากโรงเชือดและชำแหละสัตว์ปีกไปผ่านกระบวนการย่อยในหม้อต้ม หม้ออบ ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง ประมาณ 130 - 150 องศาเซลเซียส

และความดัน 30 - 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 - 150 นาที ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทโปรตีน ที่มีราคาแพงได้ เช่น กากถั่วเหลือง ปลาป่น เป็นต้น เพื่อลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์น้ำลงได้ ขนไก่ป่นเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณโปรตีนสูง³ แต่เป็นโปรตีนคุณภาพค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) ได้แก่ เมทไทโอนีน ไลซีน ฮีสทีดีน และทริปโตเฟน อยู่ในระดับต่ำ⁴ และเป็นโปรตีนย่อยยาก เนื่องจากเป็นโปรตีนชนิดเคราติน (Keratin) ที่มีโครงสร้างเกาะกันแข็งแรง⁵ ดังนั้นการนำขนไก่ป่นไปใช้ในสูตรอาหารสัตว์จึงจำเป็นต้องจำกัดปริมาณการใช้ในสูตรอาหารสัตว์น้ำ คือ ไม่เกิน 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำมาใช้กับสัตว์น้ำได้ดังเช่นรายงานวิจัยของเอก รักษ์ติธรรมกุล⁷ ที่ได้ใช้ขนไก่ป่นหมักทดแทนปลาป่นในอาหารปลาพบว่า การใช้ขนไก่ป่น 25 เปอร์เซ็นต์ แทนที่ปลาป่นในสูตรอาหารปลานิลและปลาดุกมีอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการให้อาหารใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากที่สุดและจะลดต้นทุนในการผลิตอาหารทดลองได้ 0.71 และ 0.81 บาท/กิโลกรัมตามลำดับ และการใช้ขนไก่ป่นหมัก 50 เปอร์เซ็นต์สามารถลดต้นทุนค่าอาหารปลาได้มากที่สุดโดยไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการให้อาหารแตกต่างจากกลุ่มควบคุม

แกนสับปะรด หรือไส้กลางสับปะรด คือ แหล่งสะสมสารอาหารของสับปะรด โดยเฉพาะเอนไซม์บรอมีเลน (Bromelain) แต่โดยทั่วไปแล้วเอนไซม์บรอมีเลนมีอยู่ในทุกส่วนของสับปะรด แต่จะพบในส่วนแกนมากที่สุด โดยเอนไซม์นี้มีสรรพคุณในการย่อยสลายโปรตีน⁸



เปลือกมะละกอดิบ เป็นส่วนนอกสุดของผลมะละกอ มีสีเขียว นำมาใช้ประโยชน์ในการทำยารักษาโรคได้ ซึ่งสามารถใช้ได้จากหลายส่วนของมะละกอ คือ ยางจากใบ ผล ยอดอ่อน ลำต้น ผลดิบ ผลสุก เหง้า เมล็ดแก่ ซึ่งสารสำคัญที่พบในส่วนต่าง ๆ ของมะละกอมีย่อยอยู่หลายกลุ่ม เช่น ยางจากใบหรือผล มีเอนไซม์ปาเปน (papain) สำหรับปาเปนเป็นชื่อรวมสำหรับเรียกเอนไซม์จากน้ำยางมะละกอ มีสรรพคุณย่อยโปรตีนได้เป็นเอนไซม์โปรติโอไลติก (proteolytic enzyme) จึงนำมาทำเป็นยาแผนปัจจุบันช่วยเรื่องการย่อยในระบบย่อยอาหาร⁹

กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในโครงการระบบส่งเสริมเกษตรแบบแปลงใหญ่ ยังคงเลี้ยงปลาด้วยรูปแบบการเลี้ยงแบบพื้นบ้าน โดยเลี้ยงปลาในบ่อดิน ไม่ได้ให้อาหาร ให้ปลาเจริญเติบโตเองตามธรรมชาติ ทำให้ปลาเจริญเติบโตได้ช้า ใช้เวลาเลี้ยงนาน ผลผลิตน้อย สามารถผลิตและจำหน่ายได้เพียง 1 รอบ/ปี ฉะนั้นเพื่อให้กลุ่มเกษตรกรมีผลผลิตเพิ่มขึ้น และสามารถจำหน่ายเพิ่มเป็น 2 รอบ/ปี จึงต้องพัฒนารูปแบบการเลี้ยงเป็นแบบกึ่งพัฒนา โดยเสริมอาหารสมทบจากชนไก่พื้นเมืองป่น ซึ่งเป็นเศษเหลือจากการแปรรูปไก่ ด้วยวิธีที่กลุ่มเกษตรกรสามารถดำเนินการได้เอง เช่น การย่อยโดยการให้ความร้อนด้วยการต้ม หรือการย่อยด้วยเอนไซม์จากธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีการเลี้ยงปลาให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น จากการที่ปลามีการเจริญเติบโตดีขึ้น เร็วขึ้น และยังช่วยลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงปลาได้อีกด้วย โดยใช้ปลาตะเพียนขาว

เป็นตัวแทนปลากินพืช เนื่องจากปลาตะเพียนขาวในพื้นที่ ยังคงมีการเลี้ยงแบบพื้นบ้านอยู่ จึงประสงค์จะยกระดับรูปแบบการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวให้สูงขึ้น โดยไม่กระทบกับต้นทุนการผลิต และเพื่อเป็นการศึกษาผลของอาหารสมทบจากชนไก่พื้นเมืองป่น ในการเลี้ยงปลากินพืชในรูปแบบการเลี้ยงกึ่งพัฒนา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชนไก่ป่น

นำชนไก่ดิบมาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์โปรตีน ด้วยวิธีการดังนี้คือ หมักด้วยแกนสับปะรด, หมักด้วยเอนไซม์ บรอมีเลน (Bromelain) สกัดจากสับปะรด, หมักด้วยยางมะละกอจากเปลือกมะละกอดิบ และหมักด้วยเอนไซม์ปาเปน (papain) สกัดจากยางมะละกอ ทั้ง 4 กรรมวิธีจะหมักไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำไปเข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) เป็นเวลา 45 นาที นำมาทำให้แห้งโดยการอบผ่านตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้งดี หากเกษตรกรไม่มีเครื่องมือ ให้ดำเนินการหมักไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปนึ่งบนลังถึงนำมาทำให้แห้ง โดยการตากแดดจนกว่าจะแห้งดี แล้วนำมาบดป่นให้ละเอียดเป็นผง หลังจากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ข้อมูลทางโภชนาการที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (proximate analysis) ในชนไก่ป่นแต่ละรูปแบบ ได้แก่ค่า ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส ตามวิธีของ A.O.A.C (2000)¹⁰



Figure 1. Feather meal (a), feather meal marinated with pineapple cores (b) and feather meal marinated with raw papaya peels (c)

2. การเตรียมอาหารทดลอง

เนื้อด้วยขนไก่ปนที่หมักด้วยแกนสับปะรด และขนไก่ปนที่หมักด้วยยางมะละกอจากเปลือกมะละกอดิบ มีโภชนะที่สัตว์น้ำต้องการ และมาจากกรรมวิธีที่ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถหาวัตถุดิบที่มีเอนไซม์จากธรรมชาติได้ในท้องถิ่นและสามารถกระทำได้อเองในครัวเรือน ไม่จำเป็นต้องเพิ่มต้นทุนในการซื้อเอนไซม์สกัด จึงเลือกใช้ขนไก่ปนที่หมักด้วยแกนสับปะรดและขนไก่ปนที่หมักด้วยยางมะละกอจากเปลือกมะละกอดิบ ในขั้นตอนการเตรียมขนไก่ปนมาเป็นอาหารสมทบในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 และเป็นวัตถุดิบทดแทนปลาป่นเพื่อผลิตอาหารผสมสำเร็จที่ทำขึ้นเอง โดยใช้เป็นอาหารสมทบในชุดการทดลองที่ 4 และ 5 ซึ่งอาหาร

สมทบในชุดการทดลองที่ 4 และ 5 จะมีโปรตีนรวมในสูตรอาหารเท่ากับ 28 เปอร์เซ็นต์โปรตีน โดยมีสูตรอาหารดังแสดงใน Table 1 จากการที่แกนสับปะรดและเปลือกมะละกอดิบมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกัน เมื่อคำนวณโปรตีนรวมในสูตรให้ได้เท่ากับ 28 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้สัดส่วนปริมาณกากถั่วเหลือง รำละเอียด และปลายข้าวจะปรับเปลี่ยนแตกต่างกัน วัตถุดิบทั้งหมดในสูตรอาหารที่ผ่านการบดละเอียด ซึ่งน้ำหนักตามสัดส่วนในสูตรผสมให้เข้ากัน และนำเข้าเครื่อง mincer เพื่อขึ้นรูปอัดเม็ด ณ วิชาเอกการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์

Table 1 Diets in experiment sets 4 and 5

Ingredients (kg)	Experimental diets	
	Complete feed made from	Complete feed made from
	feather meal marinated with pineapple cores	feather meal marinated with raw papaya peels
Broken rice	27.00	25.00
Rice bran	27.00	25.00
Soybean meal (44%)	27.00	31.00
Soybean oil	4.00	4.00
feather meal marinated with pineapple cores	15.00	0.00
feather meal marinated with raw papaya peels	0.00	15.00
total (kg)	100.00	100.00



Figure 2. Complete feed made from feather meal marinated with pineapple cores (a) and Complete feed made from feather meal marinated with raw papaya peels (b)

3. การเตรียมสัตว์ทดลอง

เลี้ยงปรับสภาพปลาตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*) ก่อนเริ่มการทดลองเป็นเวลา 1 สัปดาห์ในถังพลาสติกขนาด 700 ลิตร ด้วยแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยง เพื่อเป็นอาหารธรรมชาติให้กับปลา จากนั้นใช้ปลาแบบคละเพด

คัดให้มีน้ำหนักเฉลี่ย 35.0 ± 0.5 กรัม/ตัว เลี้ยงในถังพลาสติกขนาด 700 ลิตร ที่มีน้ำเขียวเป็นอาหารธรรมชาติบรรจุอยู่ 400 ลิตร พร้อมสายยางท่อลมต่อกับหัวทรายเป็นเครื่องเติมอากาศสำหรับทุกถัง จำนวน 15 ถัง แต่ละถังใส่ปลาตะเพียนขาวจำนวน 30 ตัว ใช้ลูกพันธุ์ปลาทั้งสิ้น 450 ตัว

4. การทดลอง

ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาตะเพียนขาว หลังได้รับอาหารทดลอง โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ไม่ให้อาหารสมทบ คือปลาได้รับอาหารจากแพลงก์ตอนพืชในน้ำเขียวภายในบ่อเลี้ยงเพื่อจำลองสภาพบ่อเลี้ยงปลาแบบพื้นบ้าน (T1), ให้ชนไก่ปนหมักด้วยแกนสับประดเป็นอาหารสมทบ (T2), ให้ชนไก่ปนหมักด้วยยางมะละกอกจากเปลือกมะละกอดิบเป็นอาหารสมทบ (T3), ให้อาหารผสมสำเร็จที่ใช้ชนไก่ปนหมักด้วยแกนสับประดทดแทนปลาป่นเป็นอาหารสมทบ (T4) และให้อาหารผสมสำเร็จที่ใช้ชนไก่ปนหมักด้วยยางมะละกอกจากเปลือกมะละกอดิบทดแทนปลาป่นเป็นอาหารสมทบ (T5) โดยกำหนดอัตราการให้อาหารปลาตะเพียนขาวในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน ซึ่งปริมาณที่กำหนดเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการอาหารในแต่ละวันของปลา โดยปกติจะอยู่ที่ 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และสะดวกต่อการคำนวณค่าการเจริญเติบโตและต้นทุนการผลิต เช่นเดียวกับงานวิจัยของ มหัทธนี ภิญาญ และคณะ¹¹ ที่ให้อาหาร 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จำนวน 2 ครั้งต่อวัน (เวลา 8.30 น. และ 16.30 น.) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกน้ำหนักปลาทุก ๆ 2 สัปดาห์ การให้อาหารจะแบ่งให้วันละ 2 มื้อ ระหว่างการเลี้ยงมีการถ่ายเปลี่ยนน้ำ 3 วันต่อครั้ง ตรวจวัดคุณภาพน้ำพร้อมกับการชั่งน้ำหนักปลาเพื่อปรับปริมาณอาหาร โดยตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และค่าอุณหภูมิของน้ำ ด้วยเครื่อง DO meter ของ Horiba รุ่น DO210

ส่วนค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter ของ APERA รุ่น PH20 Value Pocket pH Tester Kit ทำการชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมดในแต่ละหน่วยทดลอง เพื่อปรับปริมาณอาหารและเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการกินอาหาร อัตราแลกเนื้อ และอัตราการรอด ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics 21

5. การเก็บผลข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ นำมาคำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้

5.1 น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย (weight gain: กรัมต่อตัว) = น้ำหนักสุดท้าย - น้ำหนักเริ่มต้น

5.2 น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (daily weight gain: กรัมต่อตัวต่อวัน) = (น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง) / ระยะเวลาในการทดลอง

5.3 ปริมาณอาหารที่กิน (Feed Intake: กรัมต่อตัวต่อวัน) = ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด / ระยะเวลาในการทดลอง

5.4 อัตราแลกเนื้อ (Feed Conversion Ratio: FCR) = น้ำหนักอาหารที่ให้ / น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

5.5 อัตราการรอดตาย (Survival rate: เปอร์เซ็นต์) = (จำนวนปลาที่เหลือ / จำนวนปลาเริ่มต้น) x 100

6. การศึกษาต้นทุนการผลิตอาหารปลา

ต้นทุนค่าอาหารผสมสำเร็จสำหรับทดลองเลี้ยงปลาตะเพียนขาว คำนวณจากราคาของวัตถุดิบแต่ละชนิด ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รายละเอียด ปลาขี้ขาว น้ำมันพืช วิตามินพรีมิกซ์ และแทนแดง คูณด้วยปริมาณของแต่ละวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหาร 1 กิโลกรัม คำนวณตามสูตร ดังนี้¹

6.1 ราคาอาหาร (บาทต่อกิโลกรัม) = ราคาวัตถุดิบอาหาร / ปริมาณวัตถุดิบในสูตรอาหาร

6.2 ต้นทุนอาหารต่อปลา 1 กิโลกรัม (บาทต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม) = ราคาอาหาร x อัตราแลกเนื้อ (Feed Conversion Ratio: FCR)

คิดคำนวณเช่นเดียวกันทุกสูตรอาหารทดลอง แล้วเปรียบเทียบต้นทุนที่ได้

ผลการวิจัย

1. ผลของการปรับปรุงคุณลักษณะและโภชนาที่เป็นองค์ประกอบในชนไก่ป่น

องค์ประกอบทางเคมีในชนไก่พื้นเมืองป่นทั้งรูปแบบที่หมักด้วยแกนสับปะรด หมักด้วยเอนไซม์บรอมีเลนสกัดจากสับปะรด หมักด้วยยางมะละกอจากเปลือกมะละกอดิบ และหมักด้วยเอนไซม์ปาเปนสกัดจากยางมะละกอ มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 10 – 14 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 64 – 81 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 2.30 - 2.60 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณเยื่อใยอยู่ในช่วง 1.58 – 1.76 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณแคลเซียมอยู่ในช่วง 0.15 – 0.22 เปอร์เซ็นต์ และค่าปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.69 – 0.80 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Chemical composition of feather meal

Forms of feather meal	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Fiber (%)	Calcium (%)	Phosphorus (%)
Feather meal marinated with pineapple core	14.00	73.00	2.54	1.72	0.18	0.72
Feather meal marinated with bromelain enzyme	10.00	81.00	2.30	1.58	0.20	0.75
Feather meal marinated with raw papaya peel	12.00	64.00	2.60	1.76	0.15	0.69
Feather meal marinated with papain enzyme	10.00	78.00	2.37	1.61	0.22	0.80

2. ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลา

จากการศึกษาผลของการใช้ชนไก่พื้นเมืองป่นรูปแบบต่าง ๆ เป็นอาหารสมทบในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวกึ่งพัฒนา หลังการทดลองพบว่า ค่า

น้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 35.20 ± 0.54 , 35.24 ± 0.30 , 35.19 ± 0.45 , 35.21 ± 0.23 และ 35.22 ± 0.35 กรัม ต่อตัว ค่าน้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 58.65 ± 0.59 , 80.15 ± 0.64 , 78.79 ± 0.77 , 95.22 ± 0.52 และ

94.71 $\pm$ 0.36 กรัมต่อตัว คำนวณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 23.45 $\pm$ 4.57, 44.91 $\pm$ 1.54, 43.60 $\pm$ 1.71, 60.01 $\pm$ 2.36 และ 59.49 $\pm$ 1.95 กรัมต่อตัว คำนวณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันเท่ากับ 0.42 $\pm$ 0.07, 0.80 $\pm$ 0.13, 0.78 $\pm$ 0.19, 1.07 $\pm$ 0.04 และ 1.06 $\pm$ 0.03 กรัมต่อตัวต่อวัน ค่าปริมาณอาหารที่กินเท่ากับ 5.68 $\pm$ 0.20, 5.74 $\pm$ 0.14, 4.78 $\pm$ 0.10 และ 4.96 $\pm$ 0.10 กรัมต่อตัวต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหาร

เป็นเนื้อเท่ากับ 3.20 $\pm$ 2.71, 3.51 $\pm$ 1.18, 2.70 $\pm$ 0.11 และ 2.83 $\pm$ 0.21 และค่าอัตราการรอดตายเท่ากับ 73.33 $\pm$ 6.82, 96.67 $\pm$ 3.00, 93.33 $\pm$ 2.00, 98.22 $\pm$ 2.00 และ 98.22 $\pm$ 2.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับชุดการทดลอง ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Growth performance of Silver barb

Parameters	Experiments					p-value
	T1	T2	T3	T4	T5	
Initial weight (g/fish)	35.20 $\pm$ 0.54	35.24 $\pm$ 0.30	35.19 $\pm$ 0.45	35.21 $\pm$ 0.23	35.22 $\pm$ 0.35	0.984
Final weight (g/fish)	58.65 $\pm$ 0.59 ^c	80.15 $\pm$ 0.64 ^b	78.79 $\pm$ 0.77 ^b	95.22 $\pm$ 0.52 ^a	94.71 $\pm$ 0.36 ^a	0.032
Weight gain (g/fish)	23.45 $\pm$ 4.57 ^c	44.91 $\pm$ 1.54 ^b	43.60 $\pm$ 1.71 ^b	60.01 $\pm$ 2.36 ^a	59.49 $\pm$ 1.95 ^a	0.037
Daily weight gain (g/fish/day)	0.42 $\pm$ 0.07 ^c	0.80 $\pm$ 0.13 ^b	0.78 $\pm$ 0.19 ^b	1.07 $\pm$ 0.04 ^a	1.06 $\pm$ 0.03 ^a	0.041
Feed intake (g/fish/day)	-	5.68 $\pm$ 0.20 ^a	5.74 $\pm$ 0.14 ^a	4.78 $\pm$ 0.10 ^b	4.96 $\pm$ 0.10 ^b	0.017
Feed Conversion Ratio: FCR	-	3.20 $\pm$ 2.71 ^a	3.51 $\pm$ 1.18 ^a	2.70 $\pm$ 0.11 ^b	2.83 $\pm$ 0.21 ^b	0.028
Survival rate (%)	73.33 $\pm$ 6.82 ^b	96.67 $\pm$ 2.82 ^a	93.33 $\pm$ 3.00 ^a	98.22 $\pm$ 2.00 ^a	98.22 $\pm$ 2.00 ^a	0.046

^{a, b} Means with different superscripts within the same row differ significantly at $P < 0.05$

T1 = Not giving supplemental feed

T2 = Supplemental feed from feather meal marinated with pineapple cores

T3 = Supplemental feed from feather meal marinated with raw papaya peels

T4 = Supplemental feed of complete feed made from feather meal marinated with pineapple cores

T5 = Supplemental feed of complete feed made from feather meal marinated with raw papaya peels

3. ต้นทุนการผลิตอาหารสมทบ

อาหารสมทบแต่ละสูตรมีราคาค่าอาหาร เท่ากับ 4.50, 3.75, 19.73 และ 19.32 บาท ตามลำดับ และมีต้นทุนอาหารต่อปลา 1 กิโลกรัมเท่ากับ

14.40 ± 1.70, 13.16 ± 2.29, 53.27 ± 1.86 และ 54.68 ± 0.84 บาทต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม ตามลำดับชุดการทดลอง ดังแสดงใน Table 4

Table 4 cost of experimental diets

Experimental diets	Price (THB/kg)	Feed cost per 1 kilogram of fish weight increase (THB/kg)
T2	4.50	14.40 ± 1.70 ^b
T3	3.75	13.16 ± 2.29 ^b
T4	19.73	53.27 ± 1.86 ^a
T5	19.32	54.68 ± 0.84 ^a

^{a, b} Means with different superscripts within the same row differ significantly at P < 0.05

T2 = Supplemental feed from feather meal marinated with pineapple cores

T3 = Supplemental feed from feather meal marinated with raw papaya peels

T4 = Supplemental feed of complete feed made from feather meal marinated with pineapple cores

T5 = Supplemental feed of complete feed made from feather meal marinated with raw papaya peels

อภิปรายผล

ผลของการปรับปรุงคุณลักษณะและโภชนาที่เป็นองค์ประกอบในชนไก่ปน

องค์ประกอบทางเคมีในชนไก่พื้นเมืองปน ทั้งรูปแบบที่หมักด้วยแกนสับปะรด หมักด้วยเอนไซม์บรอมิเลนสกัดจากสับปะรด หมักด้วยยางมะละกอจากเปลือกมะละกอดิบ และหมักด้วยเอนไซม์ปาเปนสกัดจากยางมะละกอ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการใช้เอนไซม์สกัดที่มีความเข้มข้นของเอนไซม์สูงกว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลาย หรือไฮโดรไลซิสโปรตีนได้ดีกว่าเอนไซม์จากธรรมชาติ คือ แกนสับปะรด และเปลือกของมะละกอผลดิบ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการ

รายงานค่าองค์ประกอบทางเคมีในชนไก่ปน พบว่าคุณสมบัติและโภชนาที่เป็นองค์ประกอบในชนไก่พื้นเมืองปนจากการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่มีรายงาน ดังรายงานการศึกษาของ วิมล จันทรโรทัย¹² ที่รายงานค่าองค์ประกอบทางเคมีของชนไก่ปน ดังนี้คือ มีความชื้น 8.10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโปรตีน 84.20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.80 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 1.00 เปอร์เซ็นต์ และรายงานการศึกษาของ อุทัย คันโธ¹³ รายงานค่าองค์ประกอบทางเคมีของชนไก่ปน ดังนี้คือ มีความชื้น 10.00 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโปรตีน 83.50 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.50 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 1.50 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.20 เปอร์เซ็นต์ และ

ฟอสฟอรัส 0.75 เปอร์เซ็นต์ จะนั้นสามารถใช้เอนไซม์
บรอมีเลนและปาเปน เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะ
ของขนไก่ป่นได้ทั้งรูปแบบเอนไซม์ธรรมชาติและ
เอนไซม์สกัด หากต้องการลดต้นทุนแนะนำให้ใช้
แกนสับปะรด ที่เป็นเศษเหลือทิ้ง มีต้นทุนต่ำ และ
ให้โภชนะที่ครบถ้วน และมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับ
การใช้เอนไซม์สกัด

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลา

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลา
ตะเพียนขาว จากการพัฒนาอาหารสมทบจากขนไก่
พื้นเมืองป่นในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวรูปแบบ
กึ่งพัฒนา โดยการนำเศษเหลือทิ้งอย่างขนไก่มาทำป่น
และหมักย่อยด้วยเอนไซม์ธรรมชาติ มาเป็นอาหาร
สมทบ และใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารผสมสำเร็จ
ใช้เป็นอาหารสมทบ เพื่อช่วยลดต้นทุน เมื่อนำไป
ทดลองเลี้ยงปลาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ได้ผลการ
เจริญเติบโตของปลา คือ ค่าน้ำหนักเริ่มต้น ค่าน้ำหนัก
สุดท้าย ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
ต่อวัน ค่าปริมาณอาหารที่กิน ค่าอัตราการเปลี่ยน
อาหารเป็นเนื้อ และค่าอัตราการรอดตายของปลา
ตามลำดับชุดการทดลอง ดังแสดงใน Table 3
เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติแล้ว พบว่า ปลาตะเพียน
ขาวที่ได้รับอาหารสมทบจากขนไก่พื้นเมืองป่น
ในรูปแบบที่แตกต่างกัน คือ ไม่ให้อาหารสมทบ
ให้ขนไก่ป่นที่หมักด้วยแกนสับปะรดเป็นอาหารสมทบ
ให้ขนไก่ป่นที่หมักด้วยเปลือกมะละกอดิบเป็น
อาหารสมทบ ให้อาหารผสมสำเร็จที่มีการใช้ขนไก่ป่น
ที่หมักด้วยแกนสับปะรดทดแทนปลาป่นเป็นอาหาร
สมทบ และให้อาหารผสมสำเร็จที่มีการใช้ขนไก่ป่น

ที่หมักด้วยเปลือกมะละกอดิบทดแทนปลาป่นเป็น
อาหารสมทบ มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของ
ปลา โดยส่งผลให้ค่าน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่
เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันปริมาณอาหารที่กิน
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)
โดยปลาตะเพียนขาวที่ได้รับอาหารสมทบในทุก
รูปแบบมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย
ของปลาที่ดีกว่าปลาที่ไม่ได้รับอาหารสมทบ
(ชุดควบคุม) และอาหารสมทบที่อยู่ในรูปแบบอาหาร
ผสมสำเร็จ มีแนวโน้มของอัตราการเจริญเติบโต
และอัตราการรอดตายของปลาที่ดีกว่าปลากลุ่มที่
ได้รับอาหารสมทบเป็นขนไก่ป่นเพียงอย่างเดียว
เนื่องจากอาหารผสมสำเร็จมาจากการผสมวัตถุดิบ
ที่หลากหลายครบถ้วนกว่าขนไก่ป่นเพียงอย่างเดียว
จึงทำให้มีความหลากหลายทางโภชนาการ และ
การเจริญเติบโตของปลาเกิดจากการได้รับพลังงาน
ซึ่งปลาได้รับพลังงานจากอาหารที่กินเข้าไป
โดยอาหารประกอบไปด้วยสารอาหารหลัก คือ โปรตีน
ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ ที่เป็น
ส่วนสำคัญในการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และ
การสืบพันธุ์เพิ่มผลผลิตของปลา ความต้องการ
พลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของปลาแต่ละชนิด
แต่ละขนาด มีความแตกต่างกัน ทราบได้โดยการ
ผลิตอาหารให้มีระดับพลังงานแตกต่างกันไป
แล้วนำมาให้ปลากินในระยะเวลา 2 - 3 เดือน
สังเกตการเจริญเติบโต โดยอาหารที่มีสัดส่วนของ
พลังงานและโปรตีนที่เหมาะสม จะทำให้ปลามีการ
เจริญเติบโตเร็วที่สุด จึงทำให้การผลิตอาหารปลา
ในปัจจุบัน ได้เริ่มพิจารณาถึงสัดส่วนของพลังงานที่

ย่อยได้ต่อกรัมโปรตีนซึ่งหมายถึง ปลาที่ได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอแก่ความต้องการ ควรมีพลังงานที่ย่อยได้จากโปรตีน ไชมัน และคาร์โบไฮเดรตเพียงพอแก่ความต้องการ¹⁴ และการใช้ประโยชน์จากขนไก่พื้นเมืองป็นทดแทนปลาป่นที่มีราคาแพงในสูตรอาหาร เพื่อลดต้นทุนการผลิตอาหาร ทั้งนี้ใช้ขนไก่พื้นเมืองป็นทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาตะเพียนขาว สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอก รักษ์ฤทธิธรรมกุล⁷ ที่ได้ศึกษาการใช้ขนไก่ป่นหมักทดแทนปลาป่นในอาหาร โดยทดลองในปลานิลและปลาดุกลูกผสม ต่อผลการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์จากอาหารของปลา โดยที่มีโปรตีนและพลังงานสุทธิในอาหารเท่ากัน (30% และ 400 kcal/100 g diet) อาหารสูตรที่ 1 ใช้ปลาป่น 100% เพื่อเป็นอาหารชุดควบคุม สูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 ใช้ขนไก่ป่นหมักแทนปลาป่น 25%, 50%, 75% และ 100% ตามลำดับ

ต้นทุนการผลิตอาหารสมทบ

ต้นทุนค่าอาหารสมทบจากขนไก่พื้นเมืองป่นในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ อาหารสมทบจากขนไก่ป่นหมักด้วยแกนสับปะรด อาหารสมทบจากขนไก่ป่นหมักด้วยเปลือกมะละกอดิบ อาหารสมทบจากอาหารผสมสำเร็จมีขนไก่ป่นหมักด้วยแกนสับปะรดทดแทนปลาป่น และอาหารสมทบจากอาหารผสมสำเร็จมีขนไก่ป่นหมักด้วยเปลือกมะละกอดิบทดแทนปลาป่น จาการาคาวัตถุดิบอาหารรอบการซื้อในช่วงปี พ.ศ. 2566 ประกอบด้วย ปลาสดขาว

กิโลกรัมละ 12 บาท รำละเอียดกิโลกรัมละ 15 บาท กากถั่วเหลือง (44%) กิโลกรัมละ 22 บาท และปลาป่น (60%) กิโลกรัมละ 48 บาท ทำให้อาหารสมทบแต่ละสูตรมีราคาต่ออาหารเท่ากับ 4.50, 3.75, 19.73 และ 19.32 บาท ตามลำดับ โดยมีราคาที่ต่ำกว่าอาหารสำเร็จรูปทางการค้าที่มีราคาจำหน่ายอยู่ระหว่าง 26 – 32 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสูตรที่ 1 และ 2 มีส่วนผสมน้อย เป็นเพียงขนไก่ป่นเพียงอย่างเดียว จึงมีราคาและต้นทุนค่าอาหารที่ต่ำมาก สามารถใช้เป็นอาหารสมทบแหล่งโปรตีนในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในรูปแบบกึ่งพัฒนาได้ เนื่องจากเป็นรูปแบบการเลี้ยงที่ลงทุนต่ำ ไม่เน้นผลผลิตมากนัก หากต้องการเพิ่มผลผลิต และต้องการลดระยะเวลาในการเลี้ยงลง สามารถใช้อาหารผสมสำเร็จที่มีส่วนผสมเป็นขนไก่ป่นเป็นอาหารสมทบในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวแบบกึ่งพัฒนาได้ ถือได้ว่าเป็นอาหารสมทบที่มีโภชนาครบถ้วน ทำให้ปลาโตเร็วขึ้น โดยมีราคาต่ออาหารที่ต่ำ ฉะนั้นการใช้ขนไก่พื้นเมืองป่นเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ สามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์น้ำได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ เอก รักษ์ฤทธิธรรมกุล⁷ ที่พบว่า การใช้ขนไก่ป่นหมักที่ 25% แทนที่ปลาป่นในสูตรอาหารปลานิลและปลาดุก โดยมีอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากที่สุด และจะลดต้นทุนในการผลิตอาหารทดลองได้ 0.71 และ 0.81 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และการขนไก่ป่นหมักที่ 50% สามารถลดต้นทุนค่าอาหารปลาได้มากที่สุด โดยไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างจากกลุ่มควบคุม



สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพบว่า การใช้ขนไก่พื้นเมืองป็นเป็นอาหารสมทบในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาว มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาที่ดีกว่าการไม่ให้อาหารสมทบ และอาหารสมทบในรูปแบบอาหารผสมสำเร็จให้ผลดีกว่าอาหารสมทบประเภทแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียว การใช้ขนไก่พื้นเมืองป็นหมักด้วยแกนสับปะรดหรือหมักด้วยเปลือกมะละกอดิบเป็นอาหารสมทบทำให้ปลามีการเจริญเติบโต และต้นทุนการผลิตต่ำสามารถช่วยเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาปรับระบบการเลี้ยงจากแบบพื้นบ้าน เป็นการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา ที่ปลาโตเร็วขึ้น เวลาในการเลี้ยงลดลงได้ผลผลิตเร็วขึ้น และขนไก่พื้นเมืองป็นสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ เป็นทางเลือกให้ได้อาหารปลาที่มีราคาต่อกิโลกรัมต่ำกว่าอาหารสำเร็จรูปทางการค้า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมที่ได้ร่วมสนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัย พัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 รหัสโครงการ 182066 รวมทั้งขอขอบคุณวิชาเอกการประมง สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์สำหรับดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. อรพินท์ จินตสถาพร. เอกสารประกอบการสอน วิชาอาหารสัตว์น้ำ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2553.
2. ศรีสกุล วรจันทรา, รณชัย สิทธิไกรพงษ์. โภชนศาสตร์สัตว์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไอ.เอส.พี. ตั้งเป้าส์; 2539.
3. Baker DH, Blitenthal RC, Boebel KP, Czarneckil GL, Southern LL, Willis GM. Protein-amino acid evaluation of steam-processed feather meal. Poult Sci 1981;60:1865-72.
4. พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2. หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์ไอเดียสโตร์; 2539.
5. Harrap BS, Woods EF. Soluble Derivatives of Feather Keratin.1.Isolation, Fractionation and Amino Acid Composition. Biochem J 1964;92:8-18.
6. Bureau DP, Harris AM, Beven DJ, Simmons LA, Azevedo PA, Cho CY. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. Aquaculture 2000;181:281-91.



7. เอก รักษ์ดิตรวมกุล. การใช้ชนไก่ปนหมักทดแทนปลาป่นในอาหาร. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. นครปฐม : มหาวิทยาลัยมหิดล; 2548.
8. พรปวีณ์ บุญเรือง. แขนสับประรด ประโยชน์ดี ๆ ที่ถูกมองข้าม [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 8 พ.ย. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://elvira.co.th/แกนสับประรด-ประโยชน์ดี ๆ/>
9. เพียวรี่ เหมือนวงศ์ญาติ. ตำราวิทยาศาสตร์สมุนไพร. กรุงเทพฯ: ศูนย์การพิมพ์พลชัย; 2529.
10. AOAC. Official Methods of Analysis (15th ed). Arlington, Virginia: Association of Official Analytical Chemists; 2000.
11. มหัทธนี ภิญโญ, ภัทรมาศ ถิ่นจันทร์, วิลาสินี อินญาวิเลิศ. การใช้กากมะพร้าวและ *Bacillus licheniformis* ในอาหารของปลาตะเพียนขาว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2561;23:1165-77.
12. วิมล จันทรโรทัย. อาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: กรมประมง; 2537.
13. อุทัย คั่นโธ. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสัตว์ และ สัตว์ปีก . นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2529.
14. นฤมล อัครเวศมณี. โภชนศาสตร์และการให้อาหารปลา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; 2557.

Community-Participatory IoT Water Quality Monitoring System for Saline Intrusion Management in Orchid Cultivation

Arpapan Satayavibul and Tantus Piekkoontod*

Environmental health and disaster Program, Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University.

* Corresponding Author; E-mail: Tantus.aek@gmail.com

Received: 06 May 2025 /Revised: 30 June 2025 /Accepted: 30 June 2025

Abstract

Saline water intrusion poses a significant threat to orchid cultivation in Thailand's central provinces, where dry season salinity levels in irrigation canals can reach 4.2 dS/m—well above the 2.0 dS/m tolerance threshold for salt-sensitive orchids. Despite Thailand's global leadership in orchid exports, with annual revenues exceeding USD 160 million, smallholder farmers lack access to real-time, affordable salinity monitoring tools. Traditional water quality assessments are labor-intensive and reactive, failing to prevent crop damage during critical salinity events. This study developed and evaluated a community-participatory Internet of Things (IoT) water quality monitoring system integrating low-cost electrical conductivity (EC) sensors with mobile alert functionality to support timely salinity management in orchid farming.

The system employed NodeMCU ESP8266 microcontrollers integrated with EC sensors ($\text{Salinity} \approx \text{EC} \times 0.64$), pH (ESEN-288), temperature (DS-18B20), and dissolved oxygen sensors. Real-time data visualization and alerting were enabled via the Blynk mobile platform. Field deployment in Sam Phran District, Nakhon Pathom Province involved 30 farmers (65% of local growers). Sensor calibration was conducted in partnership with Suan Dusit University. Evaluation included technical validation, user satisfaction surveys (usability, performance, design, installation), and an economic impact analysis comparing crop loss data from 2015–2021 with post-implementation results in 2024.

The system demonstrated high technical reliability across parameters and achieved strong user satisfaction (mean scores $>4.67/5.0$ across all dimensions). Economic analysis revealed a 42% reduction in average annual crop damage, translating to savings of 17,000 THB per household. The system enabled timely responses, such as alternative water sourcing and irrigation adjustments. Community engagement was evident through user-led maintenance, data sharing, and interest in system expansion.

This study highlights the potential of participatory, low-cost IoT solutions in enhancing agricultural resilience, supporting smart farming adoption among smallholders, and promoting scalable, sustainable salinity management practices.

Keywords: water quality monitoring, saline intrusion management, climate adaptation

Introduction

Thailand maintains its position as the world's leading orchid exporter, with annual exports exceeding USD 160 million as of 2022¹ The central provinces, particularly Nakhon Pathom and Samut Sakhon, account for approximately 45% of national orchid production² However, saline water intrusion—exacerbated by climate change and groundwater overextraction—has emerged as a significant threat to orchid cultivation, a crop sensitive to salinity levels above 2.0 dS/m.^{3,4,5}

The application of Internet of Things (IoT) technology in environmental monitoring offers innovative approaches to mitigate such stressors. IoT systems facilitate real-time data acquisition through integrated sensors, cloud platforms, and mobile applications. These technologies have demonstrated potential in improving irrigation efficiency, detecting pH, dissolved oxygen, and temperature levels, and responding proactively to environmental changes^{5,6} Nevertheless, existing systems often lack community engagement, which impedes their relevance and adoption in smallholder agricultural contexts.

Salinity intrusion in coastal and lowland regions of Southeast Asia has intensified in recent years, resulting in substantial soil degradation and a marked decline in agricultural productivity⁷ In Thailand's central plains, salinity concentrations in irrigation canals during the dry season have been recorded at levels as high as 4.2 dS/m—well above the tolerance threshold for salt-sensitive crops such as orchids⁴ To prevent adverse impacts, irrigation water should maintain salinity levels below 0.75 grams per liter, or an electrical conductivity (EC) of less than 750 microsiemens per centimeter. To counteract salinity ingress, the Department of Agricultural Extension recommends maintaining elevated water levels in on-farm reservoirs relative to surrounding fields, thereby reducing the potential for saline water intrusion via subsurface flow. Furthermore, it advocates for the adoption of water-efficient irrigation strategies to limit water usage and reduce salinity exposure. Despite growing awareness of the issue, there remains a critical gap in the availability of real-time, farmer-accessible monitoring and management tools for timely response to salinity intrusion.

This study introduces a community-participatory IoT system that integrates low-cost electrical conductivity (EC) sensors with a mobile alert platform (Blynk app) tailored for orchid farmers. It bridges the gap between technical innovation and socio-environmental application, offering a novel solution rooted in farmer co-design, field validation, and economic impact assessment.

Mobile applications play a vital role in this system by providing real-time, user-

friendly interfaces. Such platforms increase accessibility and adoption, especially in areas with limited infrastructure^{8,9} The mobile component in this study was developed with input from 30 local farmers and includes training for independent system maintenance.

The table below summarizes the novel contributions of this study in comparison to prior research in smart agriculture:

Table 1. Comparative Analysis of This Study and Prior Research

Aspect	Prior Research	This Study (2023–2024)	New Contribution
IoT in Agriculture	Monitored pH, DO, temperature ⁵	Integrated EC sensors with real-time alerts for orchids	Salinity alert system for high-value crops
Community Participation	Top-down system design ¹¹	Participatory co-design with local farmers	Democratized technology development
Target Crop	Focus on rice, cassava ⁷	Focus on orchids	Addresses underrepresented high-value crop
Real-Time Alert System	Alerts not implemented ⁴	EC-based mobile alerts via Blynk	Locally responsive warning mechanism
Sensor Strategy	High-cost sensors ⁶	Low-cost EC sensors + empirical formula ¹¹	Promotes affordability with acceptable precision
Field Validation	Lab-based or simulated ⁹	Field-tested with 30 orchid farmers	Provides real-world validation in Thai context
Economic Impact	Not quantified ⁸	42% reduction in reported crop loss	Evidence of cost-effectiveness and utility
Scalability	Infrastructure barriers ⁷	Interest from nearby communities	Demonstrates replicability and scale potential
User Satisfaction	Limited usability data	Usability score > 4.7 (5-point scale)	Provides quantitative feedback from end users
Sensor Calibration	Rare in-field calibration	Calibrated using lab-grade reference instruments	Ensures reliability under field conditions
Local Knowledge Integration	No farmer training reported	Farmers trained to operate and maintain system	Merges local knowledge with digital solutions
Use of Blynk App	Not documented in Thai agriculture	First use in orchid salinity management	Innovates with low-code platform in agriculture

This integrative approach presents three core innovations: (1) community-based technological design, (2) real-time salinity alerts for high-value crops, and (3) evidence-based validation through user feedback and economic outcomes. The study not only fills critical gaps in existing literature but also offers a scalable model for smart agriculture under climate stress conditions.

Objectives

- 1 . Develop and implement a community-based water quality monitoring system integrating IoT technology with local management practices.
- 2 . Evaluate the technical effectiveness and user acceptance of the system through quantitative and qualitative measures.

Materials and Methods

The research was conducted through the following seven clear steps:

System/Circuit Design

The system was designed for real-time water quality monitoring using IoT technology. The hardware included a NodeMCU ESP8266 microcontroller connected to a pH sensor (ESEN-288), a temperature sensor (DS-18B20), and a dissolved oxygen (DO) sensor. A Wi-Fi access point was used for connectivity. The software included the Arduino IDE for programming and the Blynk platform (server and mobile application) for data storage, visualization, and real-time alerts. The purpose of each component in the water quality monitoring system:

Table 2 The purpose of the component in the water quality monitoring system

Component	Type	Purpose
NodeMCU ESP-8266 microcontroller	Hardware	Serves as the central processor; collects data from sensors and transmits it via Wi-Fi.
pH sensor (ESEN-288)	Hardware	Measures the acidity or alkalinity of the water, important for orchid health.
Temperature sensor (DS-18B20)	Hardware	Measures the water temperature, which affects oxygen levels and plant health.
Dissolved Oxygen (DO) sensor	Hardware	Measures the amount of dissolved oxygen in water, indicating suitability for plant and aquatic life.
Wi-Fi access point	Hardware	Connects the microcontroller to the internet for real-time data transmission.
Arduino IDE	Software	Used for writing and uploading code to the microcontroller.
Blynk Server	Software	Stores and visualizes sensor data in real-time.
Blynk mobile application	Software	Displays sensor data and sends real-time alerts to users when thresholds are exceeded.

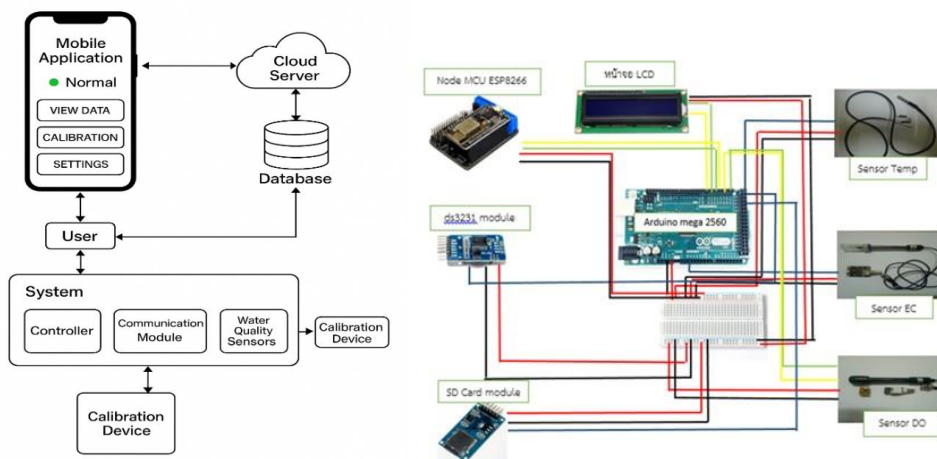


Figure 1 System design & Circuit Diagram

Field Deployment

The system was deployed in the Sam Phran orchid farming community, where irrigation water is sourced from nearby canals. The deployment process emphasized community participation. Local farmers were involved in both installation and maintenance, and training sessions were conducted to build capacity and ensure the long-term sustainability and operation of the system. This participatory approach fostered local ownership and engagement

Data Validation and Calibration

Calibration of the water quality monitoring instruments was performed to ensure data accuracy. Standard calibration solutions and reference equipment were used to validate the sensor readings for pH, temperature, and DO. This step ensured that the field data aligned with laboratory standards.

Farmer Adoption and System Performance

Post-deployment, the adoption of the system by farmers was monitored. System performance was evaluated in terms of sensor accuracy, stability of data transmission, and effectiveness of alert notifications when water quality exceeded critical thresholds. Feedback from farmers was used to assess how well the system integrated into their daily agricultural practices.

Calibration of Water Quality Monitoring Instruments

The system adopted Electrical Conductivity (EC) sensors instead of direct salinity sensors due to cost-efficiency and proven scientific validity. EC sensors are significantly more affordable and widely available than dedicated salinity sensors, making them ideal for large-scale, community-based agricultural deployment. Several

studies have confirmed that EC values can be reliably converted into salinity values using standardized empirical formulas. According to Ayers and Westcot¹⁰ a commonly accepted approximation is:

$$\text{Salinity (ppt)} \approx \text{EC (dS/m)} \times 0.64$$

A critical salinity threshold was set at 2.0 dS/m (≈ 1.28 ppt), beyond which orchid growth could be negatively affected. When this threshold was exceeded, the mobile application automatically sent alerts, enabling farmers to take timely actions such as changing water sources or adjusting irrigation schedules.

Implementation and User Satisfaction of the Community-Based Water Quality Monitoring and Warning System

The effectiveness and usability of the system were evaluated based on user feedback from the community. Aspects assessed included user-friendliness, accessibility of data, speed and reliability of alerts, and overall satisfaction. The feedback was used to improve system design and enhance user engagement and trust.

System Performance and User Satisfaction

Overall system performance was continuously monitored, focusing on data consistency, sensor reliability, mobile

application response time, and network connectivity. A user satisfaction survey was conducted to assess the system's impact on farming practices and its perceived usefulness. Insights gathered supported future improvements and scaling strategies.

Results and Discussion

Farmer Adoption and System Performance:

Key Findings and User Satisfaction

A total of 30 orchid farmers participated in the pilot implementation of the system in Sam Phran District, Nakhon Pathom Province. These farmers represented approximately 65% of the active growers in the subdistrict, indicating substantial community engagement.

To evaluate the system's effectiveness in reducing economic losses from saline intrusion, a comparative analysis was conducted using farmer-reported crop damage data from the previous two years (prior to system implementation) and the first year of using the system. The results revealed an average reduction in reported damage costs of 42%, primarily due to timely alerts and real-time monitoring that enabled preventive irrigation and protective measures.



Table 3. summarizes the average estimated crop loss per household before and after system implementation:

Year	Average Estimated Crop Damage per Household (THB)
2015(Before Implementation)	42,500
2021(Before Implementation)	40,000
2024(After Implementation)	23,000

This data indicates a cost savings of approximately 17,000 THB per household annually, validating the economic benefits of the monitoring system.

According to the local management practices objective, Farmers exhibited a strong willingness to adopt the system, driven by its perceived potential to mitigate crop damage. These findings are consistent with previous research emphasizing the role of IoT systems in enhancing agricultural management^{6,7}. The study identified several key outcomes:

1. High Trust and Active Participation: Farmers demonstrated significant engagement by actively participating in setting system parameters and maintaining equipment, reflecting a high level of trust in the technology.

2. Information Sharing: Community members proactively exchanged data, promoting the optimal use of the system and fostering a collaborative environment.

3. Scalability and Community Interest: Neighboring communities demonstrated considerable interest in adopting the system, underscoring its scalability potential and broader applicability beyond the initial trial area, consistent with findings from similar studies on agricultural technology adoption⁸.

The observed high level of farmer engagement and trust in the system is aligned with the principles of participatory technology development. Similar to the findings of Dhanaraju et al.⁶, who emphasized that community-driven IoT implementations in agriculture promote long-term sustainability and knowledge co-creation, this study also shows that farmers are more likely to adopt systems when they are involved in the parameter design and implementation stages.

Moreover, the collaborative data sharing among community members mirrors the findings of Parra-López et al.⁷ who highlighted that peer-to-peer influence and knowledge exchange significantly impact the

diffusion of smart farming technologies, particularly in rural settings. The reported interest from neighboring communities confirms the scalability potential of the system, supporting the results of Salam¹¹, who noted that modular IoT frameworks are more likely to be adopted across diverse farming contexts when coupled with appropriate training and support mechanisms.

Calibration of Water Quality Monitoring

Instruments

Instrument Calibration Procedures

For the calibration of the developed water quality monitoring instruments, the researchers collaborated with the Environmental Center Laboratory of Suan Dusit University. The Dissolved Oxygen (DO) sensor was calibrated using the zero method and subsequently compared with the YSI52 DO Meter for validation. The calibration process focused on three key parameters: the pH level of water solutions, the dissolved oxygen (DO) concentration, and water

temperature. Calibration results for all three parameters fell within acceptable standard ranges, indicating the reliability of the developed instruments for field application.

The calibration of pH and DO levels involved testing with both tap water and natural water sources. This approach ensured the instruments' accuracy across different water conditions. The detailed calibration results are presented in Table 4.

The system's calibration outcomes were consistent with acceptable scientific standards, ensuring its reliability in field applications. These results align with Dhanaraju et, al.⁶, who emphasized that the accuracy of environmental sensors for smart agriculture has improved significantly with the evolution of embedded calibration algorithms. Their study found that real-time field data validation against laboratory-grade instruments strengthens user confidence in the system—a trend also evident in this study's user satisfaction findings.

Table 4: Calibration Results of the Water Quality Monitoring Instruments

Measurement Parameter	Calibration Standard	Developed Instrument Reading	Accuracy (±)
pH Level	Standard Solution pH 4.00	4.28	±0.28
	Standard Solution pH 7.00	7.3	±0.3
	Standard Solution pH 10.00	10.4	±0.2
	Tap Water	7.85	±0.24
	Natural Water Source	7.75	±0.2
Dissolved Oxygen (DO) (mg/L)	Standard Solution DO 0 mg/L	0.57 mg/L	±0.56
	Standard Solution DO 4 mg/L	4.57 mg/L	±0.54
	Tap Water	5.15 mg/L	±0.11
	Natural Water Source	4.35 mg/L	±0.22
Temperature (°C)	Temp ≈ 25.00°C	25.50°C	±0.49
	Temp ≈ 27.00°C	28.00°C	±0.46
	Temp ≈ 34.00°C	34.50°C	±0.43

Table 4 presents the calibration and validation procedures for the key sensors integrated into the proposed water quality monitoring system. The system employs three main types of sensors:

pH Sensor

Calibrated using standard buffer solutions at pH levels of 4.00, 7.00, and 10.00, ensuring reliable readings across acidic, neutral, and basic ranges. Accuracy was confirmed through repeated calibration using the same reference solutions.

Dissolved Oxygen (DO) Sensor

Calibrated using the zero-point method and validated by cross-referencing with a YSI 52 DO Meter, a standard instrument for DO measurement.

Temperature Sensor

Verified using certified thermometers to ensure accurate temperature detection under typical field conditions.

Implementation and User Satisfaction of the Community-Based Water Quality Monitoring and Warning System

Following the calibration process, the developed system was deployed in the field, and the mobile application was tested in real-world conditions to identify potential errors and enhance system performance. To assess user satisfaction and gather feedback, a survey was conducted among 30 orchid farmers in Sam Phran Subdistrict, Sam Phran District, Nakhon Pathom Province.

This group was directly affected by water quality issues, making them ideal participants for the study.

The user satisfaction survey evaluated the application's performance and usability, aiming to identify actual user needs and

ensure the system's effectiveness in providing timely water quality monitoring and salinity warnings. The findings from this survey will inform future improvements to optimize the system's performance and user experience.



Figure 2 Water Quality Monitoring System

System Performance and User Satisfaction

From the perspective of the secondary objective, this research critically examines the system's technical performance and user acceptance, employing both quantitative analytics and qualitative insights. Particular emphasis was placed on evaluating user satisfaction with the mobile-based water

quality monitoring and alert application. The evaluation framework encompassed four core dimensions—each reflecting critical aspects of human–system interaction within IoT-based environmental monitoring platforms. The analysis yielded the following results.

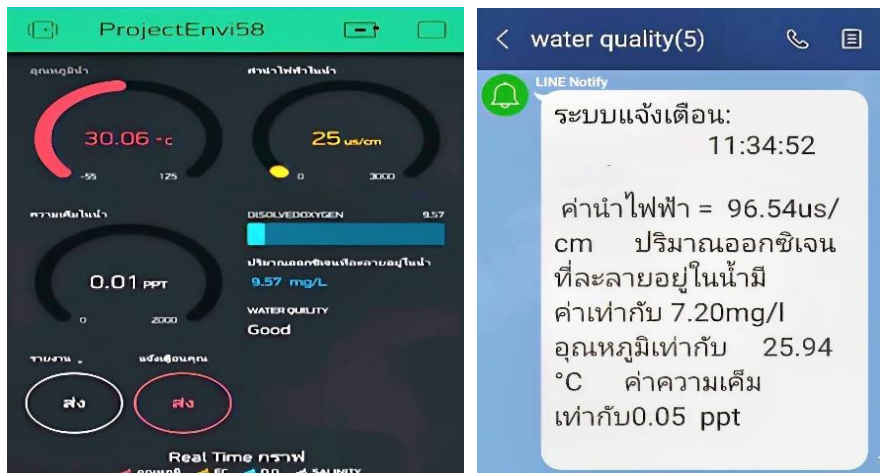


Figure 3 Dashboard & LINE Notification

The usability of the application received the highest satisfaction rating, with a mean score of 4.77 (SD = 0.55) and a satisfaction percentage of 76.67%. Overall application performance followed with a mean of 4.73 (SD = 0.50) and an 80.00% satisfaction rate. The design and appearance dimension

scored a mean of 4.70 (SD = 0.51) with a 76.67% satisfaction rate. The installation and comprehension process, while still highly rated, had the lowest satisfaction level with a mean of 4.67 (SD = 0.49) and a satisfaction percentage of 66.67%.

Table 5 User Satisfaction with the Mobile Application for Water Quality Monitoring and Salinity Warning

Dimension	Mean Score	Standard Deviation (SD)
Ease of Installation	4.67	0.49
Application Interface	4.70	0.51
Functionality	4.77	0.55
Overall Satisfaction	4.97	0.40

Further analysis of the usability dimension revealed the highest satisfaction for overall user satisfaction with the application (Mean = 4.97, SD = 0.40, Satisfaction = 96.67%), followed by the perceived usefulness of the application (Mean = 4.93, SD = 0.52,

Satisfaction = 93.33%). Accessibility of information received a satisfaction score of 86.67% (Mean = 4.87, SD = 0.47), and application responsiveness had the lowest subdimension satisfaction at 83.33% (Mean = 4.80, SD = 0.50).

The findings highlight the strong acceptance and positive reception of the mobile application. High satisfaction with usability and the application's perceived benefits indicate its effectiveness in water quality monitoring and salinity warning. The lower satisfaction with the installation and comprehension process suggests an area for improvement, potentially through enhanced user guides and simplified installation procedures.

The high satisfaction scores in usability and perceived usefulness (over 93%) reinforce the notion that mobile applications tailored to specific agricultural challenges—such as salinity management—are more likely to succeed when designed with user-centric principles⁸. Furthermore, the relatively lower score in the installation and comprehension dimension suggests a need for more intuitive onboarding procedures, a gap that has also been noted in smart farming implementations in developing regions³.

Discussion

The high satisfaction scores in usability and application performance (above 76%) underscore the system's effectiveness in meeting immediate needs related to water quality and salinity monitoring. Over the long term, the consistent use of this system can

significantly improve the resilience of orchid farmers by enabling early responses to salinity threats, which helps to preserve plant health, reduce yield losses, and stabilize income. As farmers build trust in the technology and its reliability, the system has the potential to become a core component of local agricultural water management strategies. Furthermore, community-level data sharing and aggregation can inform regional water planning, thus contributing to more adaptive irrigation policies.

However, despite overall high satisfaction, the lowest rating was found in the dimension of installation and comprehension (Mean = 4.67, Satisfaction = 66.67%). This may reflect several underlying factors:

Technical Literacy Gap: Many users may lack prior experience with digital systems or sensor installation, leading to challenges in the initial adoption phase. As highlighted by Parra-López et., al⁷, smart agriculture tools often face usability bottlenecks when deployed without sufficient user training.

Complexity of Sensor Setup: Although the system utilizes Blynk for ease of integration, the process of configuring sensors, connecting to Wi-Fi, and interpreting real-time data can still pose a learning curve, particularly for older farmers or those unfamiliar with mobile apps.

Lack of Initial Support Materials: Limited access to installation manuals or guided walkthroughs during early deployment could contribute to user confusion, highlighting the need for more user-friendly onboarding mechanisms such as video tutorials or on-site technical support.

These insights suggest that while the core technology is functional and well-accepted, future iterations of the system should focus on enhancing accessibility. Providing tailored training sessions, developing localized user manuals, and simplifying installation procedures can improve early adoption experiences and expand the system's reach to less technologically experienced users.

Moreover, ensuring long-term engagement requires more than just functionality; perceived usefulness must be accompanied by perceived ease of use, especially in resource-constrained rural settings⁸. By addressing these barriers, the system can not only maintain but also deepen user engagement over time.

Conclusion

The implementation of a community-driven water quality monitoring system demonstrated substantial improvements in real-time salinity management for orchid cultivation. Through engagement with 30 participating farmers, the system achieved an

average reduction of 42% in economic crop losses, providing compelling evidence for the cost-effectiveness and practical utility of community-based IoT solutions in agricultural settings.

The integration of Internet of Things technology within a participatory framework proved particularly effective, extending beyond mere water resource management to enhance overall farmer resilience against saline intrusion challenges. This dual benefit underscores the multifaceted value of technologically-enhanced community approaches to environmental monitoring.

The study's findings indicate strong potential for scalability across diverse agricultural sectors and geographic regions facing similar salinity challenges. The demonstrated success in orchid farming suggests broader applicability to other horticultural and agricultural systems vulnerable to water quality fluctuations.

Several areas warrant further investigation to maximize the system's impact and reach. Future research should prioritize expanding implementation to additional farming communities to validate scalability assumptions and identify region-specific adaptation requirements. Additionally, continued refinement of sensor accuracy and reliability will be essential for maintaining system effectiveness across varied environmental conditions and farming practices.

The participatory framework employed in this study offers a replicable model for integrating advanced monitoring technologies with traditional farming knowledge, creating sustainable solutions that address both immediate economic concerns and long-term environmental resilience. This approach represents a promising pathway for addressing water quality challenges in agricultural communities globally.^{9,11}

Recommendations

Based on the findings of this study, the following recommendations are proposed for future research and practice:

Expansion to Other Agricultural Sectors: Future research should explore the application of community-based water quality monitoring systems in diverse agricultural contexts, extending beyond orchid farming. This will enable a more comprehensive understanding of the system's scalability and adaptability across different crops and regions.

Refinement of Sensor Accuracy: Continuous efforts to enhance the accuracy and reliability of sensor technology are crucial. Further validation against laboratory standards and field-based testing will help improve the precision of measurements, particularly for parameters like salinity and pH, which are critical for effective water management.

Integration with Broader Agricultural Systems: The integration of IoT technologies into broader agricultural management frameworks should be explored. Developing holistic, data-driven systems that combine water quality monitoring with other variables (e.g., soil moisture, weather patterns) could provide more comprehensive solutions to challenges in water resource management and climate resilience.

Capacity Building and Training: Continued emphasis on community engagement and capacity building is vital. Regular training sessions for farmers should be conducted to ensure the sustainability of the system, fostering local expertise and long-term ownership.

Acknowledgments

This research was funded by the National Research Council of Thailand (NRCT) and conducted with support from Suan Dusit University. The authors extend gratitude to the Thai Orchid Cooperative and the Royal Irrigation Department for their contributions.

References

1. Agricultural Economics Office. Annual report on Thailand's orchid production and exports [Internet]. 2023 [cited 2024 Oct 27]. Available from: <https://oae.go.th/uploads/files/2025/05/06/58a1ba95e1a6e70a.pdf>

2. Department of International Trade Promotion. Thailand's orchid export industry: Trends and developments [Internet]. 2000 [cited 2023 Sep 11]. Available from: https://www.ditp.go.th/contents_attach/607170/607170.pdf
3. Thanh TN, Van HH, Minh HV, Tri VPD. Salinity Intrusion Trends under the Impacts of Upstream Discharge and Sea Level Rise along the Co Chien River and Hau River in the Vietnamese Mekong Delta. *Climate* 2023;11:66.
4. Mondal P, Sarupria M, Walter M. A global review of the impacts of saltwater intrusion on soils and ecosystems. In: Sparks DL, editor. *Advances in Agronomy* 2025;191: [Chapter 5]. Academic Press.
5. Saramanus S, Boonyaroj V. Development of Salinity Intrusion Monitoring System for Durian Growing areas in Nonthaburi Province. *sej* [internet]. 2023 [cited 2025 May 28]; available from: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/sej/article/view/247028>
6. Dhanaraju M, Chenniappan P, Ramalingam K, Pazhanivelan S, Kaliaperumal R. Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture* 2022;12:1745.
7. Parra-López C, Ben Abdallah S, Garcia-Garcia G, Hassoun A, Trollman H, Jagtap S, et al. Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future outlook. *Agric Water Manag* 2025;309:109347.
8. Kumar V, Sharma KV, Kedam N, Patel A, Kate TR, Rathnayake U. A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. *Smart Agric Technol* 2024;8:100487.
9. Soussi A, Zero E, Sacile R, Trincherro D, Fossa M. Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors* 2024;24:2647.
10. Ayers RS, Westcot DW. Water quality for agriculture. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev.1. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1985.
11. Salam A. Internet of Things in agricultural innovation and security. In: *Internet of Things for Sustainable Community Development*. Cham: Springer; 2020. p. 71–112.



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