

Research Article

Quality Stability of Som Khaek Chili Paste under Integrated Production and Storage Systems in a Community Enterprise, Yala Province, Thailand

Panyaras Luekhajon*, Wanida Bureepakdee, Thanyaporn Bunsiri, Wannisa Phaophan and Rungtip Wuttanaworakit

Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya

(*Corresponding author's e-mail: panyarad.l@rmutsv.ac.th)

Received: 22 May, 2026; Revised: 10 June, 2026; Accepted: 17 June, 2026

Abstract

This study aimed to evaluate the quality stability of Som Khaek chili paste under integrated production and storage systems in a community enterprise. Som Khaek chili paste produced by the Pla Som Khok Chang Housewives Agricultural Community Enterprise, Yala Province, Thailand, was evaluated under three systems. The PP system consisted of packaging in polypropylene cups without post-packaging thermal processing and storage at 4 ± 2 °C, whereas the GB and RP systems consisted of packaging in glass bottles and retort pouches, respectively, followed by post-packaging thermal processing at 98 ± 2 °C for 15 min and storage at 25 ± 2 °C. Physical, chemical, microbiological, and sensory qualities were monitored for 5 weeks. The results showed that the production and storage systems significantly affected product quality stability ($p \leq 0.05$). TBARS and PV changed during storage but remained at low levels throughout the study. Total viable counts increased in all systems, whereas yeast and mold, coliforms, and *E. coli* remained within the limits specified by the Thai Community Product Standard for fried chili paste (TCPS 321/2556). Sensory acceptance scores for color, odor, taste, texture, and overall liking gradually decreased with storage time. The PP system tended to better preserve color and texture during the later stages of storage, whereas the GB and RP systems exhibited greater microbiological stability and maintained consumer acceptance at acceptable levels. The findings provide practical information to support the selection of appropriate production and storage systems for community enterprise food products.

Keywords: Som Khaek chili paste; quality stability; integrated production and storage systems; packaging; thermal processing

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคงตัวของคุณภาพน้ำพริกส้มแช่ภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษาในวิสาหกิจชุมชน โดยใช้พริกส้มแช่ที่ผลิตโดยวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรปลาส้มคอกช้าง จังหวัดยะลา ประเทศไทย ภายใต้ 3 ระบบ ได้แก่ PP ซึ่งบรรจุในถ้วยพอลิโพรพิลีน ไม่ผ่านการให้ความร้อนภายหลังจากบรรจุ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 °C และ GB และ RP ซึ่งบรรจุในขวดแก้วและถุงรีทอร์ทเพาซ์ตามลำดับ ผ่านการให้ความร้อนภายหลังจากบรรจุที่อุณหภูมิ 98 ± 2 °C เป็นเวลา 15 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 2 °C โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและประสาทสัมผัส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ผลการศึกษพบว่าระบบการผลิตและการเก็บรักษามีผลต่อความคงตัวของคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า TBARS และ PV มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิต

เก็บรักษา แต่ยังคงอยู่ในระดับต่ำตลอดการศึกษา จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกกระบอก ขณะที่ยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *E. coli* ยังคงอยู่ภายในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำพริกผัด (มผช. 321/2556) คณะกรรมการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยระบบ PP มีแนวโน้มคงคุณลักษณะด้านสีและเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าในช่วงปลายการเก็บรักษา ขณะที่ระบบ GB และ RP มีความคงตัวทางจุลชีววิทยาสูงกว่าและยังคงรักษาการยอมรับของผู้บริโภคให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ข้อมูลที่ได้ใช้สนับสนุนการเลือกแนวทางการผลิตและการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารของวิสาหกิจชุมชนได้

คำสำคัญ: น้ำพริกส้มแขก; ความคงตัวของคุณภาพ; ระบบการผลิตและการเก็บรักษาแบบบูรณาการ; บรรจุภัณฑ์; กระบวนการให้ความร้อน

บทนำ

น้ำพริกส้มแขกเป็นผลิตภัณฑ์อาหารพื้นถิ่นของภาคใต้ที่นิยมบริโภคเป็นเครื่องจิ้มและรับประทานร่วมกับข้าวสวยหรือข้าวเหนียว โดยมีรสชาติเปรี้ยว เค็ม และเผ็ดเป็นเอกลักษณ์จากการใช้ผลส้มแขก (*Garcinia atroviridis*) ร่วมกับวัตถุดิบหมักพื้นถิ่นและเครื่องเทศต่าง ๆ ในพื้นที่ตำบลแม่หวาด อำเภอธารโต จังหวัดยะลา วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรปลาซันคอกช้างเป็นผู้ผลิตน้ำพริกส้มแขกเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์และสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเนื่องจากมีรสชาติเป็นเอกลักษณ์และสะท้อนอัตลักษณ์ทางอาหารของท้องถิ่น นอกจากนี้ ผลส้มแขกยังเป็นแหล่งของกรดอินทรีย์และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด โดยเฉพาะกรดไฮดรอกซีซิตริก (*hydroxycitric acid*; HCA) ซึ่งได้รับความสนใจด้านคุณสมบัติทางสุขภาพและศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (Baky et al., 2022) ปัจจุบันวิสาหกิจชุมชนผลิตและจำหน่ายน้ำพริกส้มแขกในบรรจุภัณฑ์ถ้วยโพลีโพรพิลีนพร้อมฝาปิด และเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น (4 ± 2 °C) ซึ่งเป็นระบบการผลิตและการกระจายสินค้าที่ใช้จริงในชุมชน แม้ว่าวิธีดังกล่าวจะสามารถรักษาความคงตัวของคุณภาพน้ำพริกส้มแขกได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังมีข้อจำกัดด้านการขนส่ง การกระจายสินค้า และการขยายตลาดไปยังพื้นที่ห่างไกล เนื่องจากต้องอาศัยระบบลูกโซ่ความเย็นตลอดกระบวนการจัดเก็บและจำหน่าย

ผลิตภัณฑ์น้ำพริกอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส อันเนื่องมาจากการสัมผัสกับออกซิเจน ความชื้นและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากน้ำพริกส้มแขกมีส่วนประกอบของน้ำมันรำข้าว กะปิ ปลาป่น และน้ำบูดู ซึ่งเป็นแหล่งของไขมัน การติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า peroxide value (PV) และ thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) จึงมีความสำคัญต่อการประเมินความคงตัวของคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลต่อสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (Shahidi & Zhong, 2010; Weeragul et al., 2024) ดังนั้น การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากวัสดุบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน ความชื้น และปัจจัยแวดล้อมอื่นแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อความคงตัวของสี การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร (Barbosa-Cánovas et al., 2020)

การให้ความร้อนภายหลังการบรรจุสามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นและเพิ่มความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพและความคงตัวระหว่างการเก็บรักษามากขึ้น (Jimenez et al., 2024) โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการแลกเปลี่ยนก๊าซและความชื้นระหว่างการเก็บรักษา เช่น ขวดแก้วและถุงรีทอร์ตเพาช์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและความชื้นได้ดี จึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแขกเพื่อช่วยรักษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาและการกระจายสินค้า แม้ว่าจะมีรายงานการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ การให้ความร้อน และสภาวะการเก็บรักษาต่อผลิตภัณฑ์ซอสและเครื่องปรุงอาหารหลายชนิด (Weeragul et al., 2024; Jimenez et al., 2024) แต่การศึกษาส่วนใหญ่ดำเนินการภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการและประเมินผลของแต่ละปัจจัยแยกจากกัน ขณะที่ในทางปฏิบัติ การผลิตอาหารในระดับวิสาหกิจชุมชนมักใช้ชนิดบรรจุภัณฑ์ กระบวนการแปรรูป และสภาวะการเก็บรักษาที่กำหนดร่วมกันเป็นระบบเดียว ส่งผลให้ยังขาดองค์ความรู้เกี่ยวกับผลของระบบการผลิตและการเก็บรักษาแบบบูรณาการที่สามารถนำไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจด้านการผลิตและการกระจายสินค้าได้โดยตรง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคงตัวของคุณภาพน้ำพริกส้มแขกภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษาแบบบูรณาการของวิสาหกิจชุมชน โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา เพื่อ

ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการเลือกและพัฒนากระบวนการผลิตและการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารในระดับวิสาหกิจชุมชน

วิธีดำเนินการวิจัย

การตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแซก

นำตัวอย่างน้ำพริกส้มแซกจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรปลาส้มคอกช้าง ตำบลแม่หวาด อำเภอธารโต จังหวัดยะลา ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ มาวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์น้ำพริกผัด เนื่องจากมีกระบวนการผัดวัตถุดิบร่วมกับน้ำมันรำข้าว โดยสูตรประกอบด้วย ส้มแซก ร้อยละ 33.0 หอมแดง ร้อยละ 24.0 ปลาป่น ร้อยละ 12.0 กระเทียม ร้อยละ 8.0 น้ำตาลทรายไม่ขัดสี ร้อยละ 8.0 น้ำมันรำข้าว ร้อยละ 4.0 กะปิ ร้อยละ 4.0 พริกชี้หนูปน ร้อยละ 4.0 น้ำบูดู ร้อยละ 2.0 ผงปรุงรสไก่ ร้อยละ 0.5 เกลือปน ร้อยละ 0.3 และผงชูรส ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก (w/w) การวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้นประกอบด้วย คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *Escherichia coli* (*E. coli*) องค์ประกอบทางโภชนาการและเคมี ได้แก่ พลังงานรวม โปรตีน ไขมันรวม ความชื้น เถ้า คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าน้ำอิสระ (a_w) และคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยทำการวิเคราะห์อย่างน้อย 3 ซ้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินความคงตัวของคุณภาพน้ำพริกส้มแซกภายใต้สภาวะบรรจุภัณฑ์ การแปรรูป และการเก็บรักษาที่แตกต่างกันในขั้นตอนการศึกษาต่อไป

การเตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำพริกส้มแซก

นำตัวอย่างน้ำพริกส้มแซกจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรปลาส้มคอกช้าง ตำบลแม่หวาด อำเภอธารโต จังหวัดยะลา มาศึกษาภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษา 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ PP ซึ่งบรรจุในถ้วยพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนพร้อมฝาปิด (polypropylene cup with lid; PP) ระบบ GB ซึ่งบรรจุในขวดแก้วฝาเกลียวปิดสนิท (glass bottle with screw cap; GB) และระบบ RP ซึ่งบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ (retort pouch; RP) โดยกำหนดน้ำหนักบรรจุ 80 กรัมต่อหน่วยตัวอย่าง สำหรับระบบ GB และ RP ตัวอย่างผ่านกระบวนการให้ความร้อนภายหลังการบรรจุโดยการนึ่งที่อุณหภูมิ $98 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที ดัดแปลงจากวิธีของ Tasaudom et al. (2009) และ Apirattananusorn & Chinabark (2013) จากนั้นทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำเย็นอุณหภูมิ $0-2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 5 นาที ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) ขณะที่ระบบ PP ซึ่งเป็นรูปแบบการผลิตและการจำหน่ายที่วิสาหกิจชุมชนใช้อยู่จริง ไม่ผ่านการให้ความร้อนภายหลังการบรรจุ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) การกำหนดระบบการผลิตและการเก็บรักษาดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคงตัวของคุณภาพน้ำพริกส้มแซกภายใต้สภาวะการผลิตจริงของวิสาหกิจชุมชน โดยพิจารณาผลรวมของรูปแบบบรรจุภัณฑ์ การให้ความร้อนภายหลังการบรรจุ และสภาวะการเก็บรักษาในลักษณะของระบบการผลิตและการเก็บรักษาแบบบูรณาการ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Packaging, processing, and storage conditions of Som Khaek chili paste samples

Sample code	Packaging system	Post-packaging thermal processing	Storage temperature ($^\circ\text{C}$)
PP	Polypropylene cup with lid	No	4 ± 2
GB	Glass bottle with screw cap	Yes ($98 \pm 2^\circ\text{C}$, 15 min)	25 ± 2
RP	Retort pouch	Yes ($98 \pm 2^\circ\text{C}$, 15 min)	25 ± 2

การศึกษาความคงตัวของคุณภาพน้ำพริกส้มแซกระหว่างการเก็บรักษา

นำตัวอย่างน้ำพริกส้มแซกภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษา 3 ระบบ ตาม Table 1 มาศึกษาความคงตัวของคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการใช้น้ำมันรำข้าวร่วมกับวัตถุดิบที่เป็นแหล่งไขมัน เช่น ปลาป่น กะปิ และน้ำบูดู จึงอาจเกิดการเสื่อมคุณภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันระหว่างการเก็บรักษาได้ ดังนั้น การศึกษานี้จึงประเมินการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) และ Peroxide Value (PV) ร่วมด้วย เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิและปฐมภูมิของไขมันตามลำดับ และเพื่อประเมินความคงตัวด้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่ศึกษา

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแขกประเมินจากจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total viable count) ยีสต์และรา (yeasts and molds) โคลิฟอร์ม (coliforms) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) โดยดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ *Bacteriological Analytical Manual* (BAM) (U.S. Food and Drug Administration, 2023) และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำพริกผัด (มผช. 321/2556) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1.0×10^4 CFU/g ยีสต์และราไม่เกิน 1.0×10^2 CFU/g Coliform ไม่เกิน 3 MPN/g และ *E. coli* ไม่เกิน 3 MPN/g

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

ค่าสีวัดด้วยเครื่อง ColorFlex EZ (HunterLab, Reston, VA, USA) ตามระบบสี CIELAB โดยวัดค่า L^* , a^* และ b^* ซึ่งค่า L^* แสดงค่าความสว่าง ค่า a^* แสดงแกนสีเขียว (-) ถึงสีแดง (+) และค่า b^* แสดงแกนสีน้ำเงิน (-) ถึงสีเหลือง (+)

ค่า water activity (a_w) ศึกษาโดยใช้เครื่อง water activity meter (Pawkit Meter Group, Inc., USA) ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC International (2023)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแขกวัดโดยดัดแปลงจากวิธีมาตรฐานของ AOAC International (2023) โดยชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น Mettler 350 (Mettler Toledo, Columbia, MD, USA) โดยวัดจากสารแขวนลอยที่เตรียมไว้

การวิเคราะห์ค่า TBARS ดำเนินการตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Shahidi & Zhong (2010) โดยชั่งตัวอย่างน้ำพริกส้มแขก 5 กรัม สกัดด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid; TCA) และทำปฏิกิริยากับสารละลาย thiobarbituric acid (TBA) จากนั้นให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รายงานผลเป็นมิลลิกรัมมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (mg MDA/kg sample) เพื่อใช้ประเมินการเกิดผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันทุติยภูมิของไขมันระหว่างการเก็บรักษา

การวิเคราะห์ค่า PV ดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ AOAC International (2023) โดยนำไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่างมาละลายในสารละลายผสมของกรดอะซิติกและคลอโรฟอร์ม จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่าง แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) โดยใช้สารละลายแบงก์เป็นตัวบ่งชี้จุดยุติ รายงานผลเป็นมิลลิอีควิวาเลนต์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมัน (mEq O_2 /kg fat) เพื่อใช้ประเมินการเกิดผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิของไขมันระหว่างการเก็บรักษา

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแขกดำเนินการภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษาแบบบูรณาการ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ PP ซึ่งบรรจุในถ้วยพอลิโพรพิลีน ไม่ผ่านการให้ความร้อนภายหลังการบรรจุ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ระบบ GB และ RP บรรจุในขวดแก้วฝาเกลียวและถุงรีทอร์ตเพาซ์ ตามลำดับ โดยทั้งสองระบบผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $98 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที หลังการบรรจุ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ การทดสอบดำเนินการโดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกันตลอดระยะเวลาการประเมิน 5 สัปดาห์ ผู้ทดสอบเป็นผู้ที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนด้านการประเมินทางประสาทสัมผัส แต่มีความคุ้นเคยกับการบริโภคน้ำพริก โดยประเมินคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยกำหนดให้คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด ในการทดสอบแต่ละครั้งผู้ทดสอบได้รับตัวอย่างน้ำพริกส้มแขกจากทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ PP, GB และ RP โดยเสิร์ฟตัวอย่างน้ำพริกส้มแขกปริมาณ 20 กรัม ร่วมกับข้าวสวย 50 กรัม และน้ำเปล่าสำหรับล้างปากระหว่างการทดสอบ ก่อนการประเมินทางประสาทสัมผัสในแต่ละสัปดาห์ ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *E. coli* หากผลการวิเคราะห์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำพริกผัด (มผช. 321/2556) จึงนำตัวอย่างไปใช้ในการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ทั้งนี้ หากตัวอย่างในสัปดาห์ใดมีปริมาณจุลินทรีย์เกินเกณฑ์มาตรฐาน จะยุติการทดสอบทางประสาทสัมผัสของระบบการผลิตและการเก็บรักษานั้นในสัปดาห์ดังกล่าวและสัปดาห์ถัดไป

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ภายใต้แต่ละระบบการผลิตและการเก็บรักษา วิเคราะห์แยกตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และวิเคราะห์

ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยภายในแต่ละระบบตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา รวมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นบล็อก ผลการทดลองรายงานในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics for Windows Version 26.0 ส่วนข้อมูลทางจุลชีววิทยาถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 321/2556) โดยมุ่งเน้นการติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา ผลการวิเคราะห์นำเสนอและตีความในเชิงพรรณนา

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแขก (Figure 1) พบว่า ผลิตภัณฑ์มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 1.4×10^3 CFU/g ขณะที่ยีสต์และราพบน้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจพบโคลิฟอร์มและ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/g ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำพริกผัด (มผช. 321/2556) สะท้อนถึงคุณภาพทางจุลชีววิทยาเบื้องต้นที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้อาจสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตที่ผ่านการผัดด้วยความร้อน ร่วมกับองค์ประกอบของสูตรที่มีส้มแขก เกลือ และวัตถุดิบหมักพื้นถิ่น เช่น กะปิ น้ำบูดู และปลาป่น ซึ่งอาจมีส่วนช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดผ่านผลรวมของหลายปัจจัย (hurdle effect) ผลิตภัณฑ์มีค่า pH เท่ากับ 4.55 ± 0.06 และค่า a_w เท่ากับ 0.84 ± 0.001 โดยค่า pH ต่ำกว่า 4.60 ซึ่งเป็นระดับที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคหลายชนิด (U.S. Food and Drug Administration, 2023)



Figure 1 Som Khaek chili paste produced by the Pla Som Khok Chang Housewives Agricultural Community Enterprise, Mae Wat Subdistrict, Than To District, Yala Province

ขณะที่ค่า a_w อยู่ในช่วงที่สามารถมีส่วนช่วยจำกัดการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะเมื่อทำงานร่วมกับปัจจัยอื่น เช่น ความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ ปริมาณเกลือ และองค์ประกอบของสูตร ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพทางจุลชีววิทยาในระดับหนึ่ง ด้านองค์ประกอบทางเคมี ผลิตภัณฑ์มีพลังงานทั้งหมด 234.68 ± 2.62 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ความชื้นร้อยละ 41.14 ± 0.44 โปรตีนร้อยละ 9.95 ± 0.02 ไขมันรวมร้อยละ 4.13 ± 0.28 เกลือร้อยละ 5.35 ± 0.14 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 39.43 ± 0.30 นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์มีใยอาหารทั้งหมด 2.39 ± 0.08 กรัมต่อ 100 กรัม ประกอบด้วยใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 0.45 ± 0.02 กรัมต่อ 100 กรัม และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้ 1.94 ± 0.09 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งสะท้อนถึงองค์ประกอบของ

สูตรที่มีวัตถุดิบจากพืชและเครื่องเทศหลายชนิด ขณะที่ปริมาณไขมันรวมอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการใช้น้ำมันรำข้าวในปริมาณจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำพริกผัดบางประเภท ด้านลักษณะทางกายภาพ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่า L^* เท่ากับ 5.10 ± 0.40 ค่า a^* เท่ากับ 6.68 ± 0.38 และค่า b^* เท่ากับ 4.48 ± 0.47 (Table 2) แสดงถึงลักษณะสีแดง-น้ำตาลค่อนข้างเข้มของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเกิดจากผลรวมของส้แซก พริกขี้หนูป่น กระปิ และน้ำพุดู รวมถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผัด องค์ประกอบดังกล่าวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะสีที่เป็นเอกลักษณ์และสอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของน้ำพริกพื้นถิ่นภาคใต้ จากผลการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้น พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้แซกมีคุณภาพทางจุลชีววิทยา เคมี และกายภาพอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมก่อนการเก็บรักษา และสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงพื้นฐานสำหรับการประเมินความคงตัวของคุณภาพภายใต้สภาวะบรรจุภัณฑ์ การแปรรูป และการเก็บรักษาที่แตกต่างกันในการศึกษาครั้งนี้

Table 2 Baseline quality characteristics of Som Khaek chili paste prior to storage

Parameters	Content
Total viable counts	1.4×10^3 CFU/g
yeast and mold counts	< 10 CFU/g
Coliform	< 3 MPN/g
<i>E. coli</i>	< 3 MPN/g
Total Energy (kcal/100 g)	234.68 ± 2.62
Protein (g/100 g)	9.95 ± 0.02
Total fat (g/100 g)	4.13 ± 0.28
Moisture (g/100 g)	41.14 ± 0.44
Ash (g/100 g)	5.35 ± 0.14
Carbohydrate (g/100 g)	39.43 ± 0.30
Total dietary fiber (g/100 g)	2.39 ± 0.08
Soluble dietary fiber (g/100 g)	0.45 ± 0.02
Insoluble dietary fiber (g/100 g)	1.94 ± 0.09
pH	4.55 ± 0.006
a_w	0.84 ± 0.001
L^*	5.10 ± 0.40
a^*	6.68 ± 0.38
b^*	4.48 ± 0.47

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้แซก พบว่า ค่า L^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในแต่ละระบบ ระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดย PP เพิ่มขึ้นจาก 5.10 ± 0.40 ในสัปดาห์ที่ 1 เป็น 6.51 ± 0.47 ในสัปดาห์ที่ 3 ก่อนลดลงในช่วงปลายการเก็บรักษา ขณะที่ GB และ RP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงต้นของการเก็บรักษาโดยในสัปดาห์ที่ 2 GB และ RP มีค่า L^* สูงกว่า PP ขณะที่ในสัปดาห์ที่ 3 RP มีค่า L^* สูงกว่า PP และ GB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (Table 3) แนวโน้มดังกล่าวอาจสัมพันธ์กับผลของการให้ความร้อนที่ส่งผลต่อโครงสร้างและการกระจายตัวขององค์ประกอบภายในผลิตภัณฑ์ ทำให้ความสามารถในการสะท้อนแสงเปลี่ยนแปลงไป (Pathare et al., 2013) ค่า a^* มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดย PP มีค่าสูงสุดในสัปดาห์ที่ 3 ขณะที่ GB มีค่าสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบการผลิตและการเก็บรักษา พบว่า PP มีค่า a^* สูงกว่า GB และ RP ในสัปดาห์ที่ 3 แต่ในสัปดาห์ที่ 5 GB มีค่าสูงกว่าทั้ง PP และ RP ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุธรรมชาติในพริก โดยเฉพาะสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ไวต่อออกซิเจน ความร้อน และสภาวะการเก็บรักษา (Meléndez-Martínez et al., 2023)

ค่า b^* ของทุกระบบการผลิตและการเก็บรักษา เปลี่ยนจากค่าบวกในช่วงเริ่มต้นเป็นค่าลบตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไป ($p \leq 0.05$) สะท้อนการลดลงของโทนสีเหลืองและการเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์ไปในทิศทางที่เข้มขึ้น โดย PP มีค่า b^* สูงกว่า GB และ RP ในสัปดาห์ที่ 2 ($p \leq 0.05$) ขณะที่ช่วงปลายการเก็บรักษาค่า b^* ของทั้ง 3 ระบบการผลิตและการเก็บ

รักษามีแนวโน้มใกล้เคียงกัน การลดลงของค่า b^* อาจเกิดจากการเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ร่วมกับปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Meléndez-Martínez et al., 2023) ระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านสีของน้ำพริกส้มแขก โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า L^* , a^* และ b^* สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุและปฏิกิริยาทางเคมีภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจมีผลต่อการรับรู้คุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค

Table 3 Changes in color parameters (L^* , a^* , and b^*) of Som Khaek chili paste under integrated production and storage systems during 5 weeks of storage

Parameters	Sample code	Storage time (weeks)				
		1	2	3	4	5
L^*	PP	5.10±0.40 ^{bA}	6.41±0.56 ^{aB}	6.51±0.47 ^{aB}	5.90±0.78 ^{abA}	6.00±1.41 ^{abA}
	GB	5.05±0.73 ^{bA}	7.17±0.54 ^{aA}	6.17±0.73 ^{aB}	7.20±0.38 ^{aA}	6.79±0.53 ^{aA}
	RP	5.32±0.23 ^{bA}	7.18±0.88 ^{aA}	7.43±1.11 ^{aA}	6.32±0.47 ^{abA}	5.57±1.39 ^{bA}
a^*	PP	6.68±0.38 ^{bA}	5.96±0.94 ^{bA}	9.84±0.13 ^{aA}	4.73±0.57 ^{cA}	5.43±1.40 ^{bcB}
	GB	6.06±0.49 ^{bA}	6.07±0.71 ^{bA}	6.56±0.25 ^{bB}	3.59±0.60 ^{cA}	10.07±0.78 ^{aA}
	RP	5.23±0.44 ^{bA}	5.77±0.28 ^{bA}	6.21±0.22 ^{bB}	1.49±0.45 ^{cB}	6.70±1.56 ^{aB}
b^*	PP	4.48±0.47 ^{aA}	-3.29±0.69 ^{bA}	-6.26±0.59 ^{cA}	-4.48±1.03 ^{bA}	-1.27±1.14 ^{bA}
	GB	4.05±0.66 ^{aA}	-4.80±0.48 ^{bB}	-6.01±0.77 ^{cA}	-6.44±0.91 ^{cB}	-2.05±1.11 ^{bA}
	RP	4.85±1.04 ^{aA}	-5.48±0.32 ^{cB}	-5.38±0.37 ^{cA}	-6.88±1.44 ^{cB}	-1.00±0.50 ^{bA}

Values are presented as mean ± SD. Different lowercase letters within the same row indicate significant differences during storage, whereas different uppercase letters within the same column indicate significant differences among production and storage systems at the same storage time ($p \leq 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ปริมาณความชื้น และค่า pH ของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแขกแสดงดัง Table 4 พบว่าค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในแต่ละระบบตลอดการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดย PP เพิ่มขึ้นจาก 0.84 ± 0.001 ในสัปดาห์ที่ 1 เป็น 0.86 ± 0.001 ในสัปดาห์ที่ 5 ขณะที่ GB มีค่าอยู่ในช่วง 0.84 – 0.85 และ RP เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงปลายการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ค่า a_w ของ PP และ RP มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ขณะที่ GB มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการศึกษา สะท้อนถึงความพร้อมของน้ำในระบบอาหารที่ค่อนข้างคงที่ตลอดการศึกษา ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายและการกระจายตัวของน้ำภายในผลิตภัณฑ์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสมดุลน้ำระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาหาร (Barbosa-Cánovas et al., 2020; Weeragul et al., 2024)

ปริมาณความชื้นของทุกระบบการผลิตและการเก็บรักษามีแนวโน้มลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 3 ก่อนเพิ่มขึ้นในช่วงปลายการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดย PP ลดลงจากร้อยละ 39.23 ± 0.77 ในสัปดาห์ที่ 1 เป็นร้อยละ 36.23 ± 1.03 ในสัปดาห์ที่ 3 ขณะที่ GB และ RP มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและมีค่าความชื้นต่ำที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 เช่นกัน แนวโน้มดังกล่าวอาจสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสมดุลความชื้นและการแลกเปลี่ยนไอน้ำระหว่างผลิตภัณฑ์กับสภาพแวดล้อม ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา (Weeragul et al., 2024) ค่า pH ของทุกระบบการผลิตและการเก็บรักษามีแนวโน้มลดลงตลอดการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดย PP ลดลงจาก 4.55 ± 0.006 เป็น 4.48 ± 0.015 ขณะที่ GB และ RP ลดลงจาก 4.50 ± 0.006 และ 4.51 ± 0.025 เป็น 4.46 ± 0.006 และ 4.43 ± 0.012 ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของค่า pH ระหว่างระบบในช่วงเวลาเดียวกัน ($p > 0.05$) และทุกตัวอย่างยังคงมีค่า pH ต่ำกว่า 4.60 ตลอดการศึกษา ซึ่งเป็นระดับที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคหลายชนิด รวมถึง *Clostridium botulinum* (U.S. Food and Drug Administration, 2023)

เมื่อพิจารณาาร่วมกัน พบว่าค่า a_w อยู่ในช่วง 0.84–0.86 และค่า pH ต่ำกว่า 4.60 ตลอดการเก็บรักษา ประกอบกับการมีเกลือ กรดอินทรีย์จากส้มแขก และกระบวนการให้ความร้อนในบางระบบ อาจมีส่วนร่วมในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพทางจุลชีววิทยาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำพริกผัด (มผช. 321/2556) ตลอดระยะเวลาการศึกษา

Table 4 Changes in water activity (a_w), moisture content, and pH of Som Khaek chili paste under integrated production and storage systems during 5 weeks of storage

Parameters	Sample code	Storage time (weeks)				
		1	2	3	4	5
a_w	PP	0.84±0.001 ^{bA}	0.84±0.002 ^{bA}	0.85±0.000 ^{abA}	0.86±0.015 ^{aA}	0.86±0.001 ^{aA}
	GB	0.85±0.002 ^{aA}	0.85±0.000 ^{aA}	0.84±0.002 ^{aA}	0.85±0.001 ^{aA}	0.85±0.004 ^{aA}
	RP	0.84±0.001 ^{bA}	0.85±0.002 ^{abA}	0.85±0.000 ^{abA}	0.85±0.001 ^{aA}	0.85±0.001 ^{aA}
moisture content	PP	39.23±0.777 ^{aA}	37.88±0.702 ^{bA}	36.23±1.038 ^{cA}	38.69±0.608 ^{abA}	39.93±0.500 ^{aA}
	GB	40.47±0.279 ^{aA}	39.39±0.262 ^{aA}	37.62±1.303 ^{cA}	38.36±0.396 ^{bcA}	40.81±0.319 ^{aA}
	RP	39.40±0.785 ^{aA}	39.56±0.769 ^{aA}	36.74±0.479 ^{cA}	39.79±0.670 ^{aA}	40.97±0.690 ^{aA}
pH	PP	4.55±0.006 ^{aA}	4.51±0.006 ^{bA}	4.49±0.000 ^{bcA}	4.53±0.025 ^{abA}	4.48±0.015 ^{cA}
	GB	4.50±0.006 ^{aA}	4.48±0.005 ^{bA}	4.49±0.006 ^{bA}	4.53±0.021 ^{aA}	4.46±0.006 ^{cA}
	RP	4.51±0.025 ^{aA}	4.45±0.011 ^{bA}	4.45±0.006 ^{bA}	4.51±0.006 ^{aA}	4.43±0.012 ^{cA}

Values followed by different lowercase letters within the same row indicate significant differences during storage, whereas different uppercase letters within the same column indicate significant differences among production and storage systems at the same storage time ($p \leq 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแขกแสดงดัง Table 5 พบว่า ค่า TBARS ของทุกระบบการผลิตและการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มลดลงในช่วงต้นของการเก็บรักษา ก่อนเพิ่มขึ้นในช่วงปลายการเก็บรักษา ทั้งนี้ PP มีค่า TBARS อยู่ในช่วง 1.16–1.91 mg MDA/kg sample ขณะที่ GB และ RP มีค่าอยู่ในช่วง 1.15–1.62 และ 1.18–1.86 mg MDA/kg sample ตามลำดับ ค่า TBARS เป็นตัวบ่งชี้ผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันทุติยภูมิ โดยเฉพาะ malondialdehyde (MDA) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัวระหว่างกระบวนการออกซิเดชันของไขมัน การลดลงของค่า TBARS ในช่วงต้นของการเก็บรักษาอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงหรือการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของสารประกอบกลุ่มอัลดีไฮด์ ขณะที่การเพิ่มขึ้นในช่วงปลายการเก็บรักษาสะท้อนถึงการสะสมของผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันทุติยภูมิระหว่างการเก็บรักษา (Domínguez et al., 2019) อย่างไรก็ตาม ค่า TBARS ของทุกระบบยังคงต่ำกว่า 2 mg MDA/kg sample ตลอดการศึกษา สะท้อนว่าการสะสมของผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันทุติยภูมิยังอยู่ในระดับจำกัดและยังไม่บ่งชี้การเสื่อมคุณภาพจากกลิ่นหืนอย่างรุนแรง (Domínguez et al., 2019; Peanparkdee et al., 2020)

การเปลี่ยนแปลงค่า PV ของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแขกแสดงดัง Table 6 พบว่า ค่า PV ของระบบการผลิตและการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.09–2.52 mEq O₂/kg fat ตลอดการศึกษา ค่า PV เป็นตัวบ่งชี้ผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยเฉพาะสารประกอบกลุ่ม hydroperoxides ซึ่งเกิดขึ้นในระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเพิ่มขึ้นของค่า PV ในบางช่วงของการเก็บรักษาสะท้อนการสะสมของ hydroperoxides ขณะที่การลดลงในช่วงถัดมาอาจเกิดจากการสลายตัวไปเป็นผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันทุติยภูมิ เช่น aldehydes และ ketones (Domínguez et al., 2019) แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS ที่พบในการศึกษานี้ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า PV และ TBARS สะท้อนผลร่วมของระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วยชนิดบรรจุภัณฑ์ การให้ความร้อนภายหลังการบรรจุ และอุณหภูมิการเก็บรักษา มากกว่าผลของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาาร่วมกัน พบว่าค่า PV (2.09–2.52 mEq O₂/kg fat) และค่า TBARS (1.15–1.91 mg MDA/kg sample) ของทุกระบบยังคงอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำตลอดระยะเวลาการศึกษา สะท้อนถึง

ความคงตัวด้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่ศึกษา ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่า PV และ TBARS สอดคล้องกับลำดับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดย hydroperoxides ที่ตรวจวัดด้วยค่า PV สามารถสลายตัวต่อไปเป็นสารประกอบออกซิเดชันทุติยภูมิที่ตรวจวัดได้ด้วยค่า TBARS (Dominguez et al., 2019)

Table 5 Changes in TBARS (Thiobarbituric Acid Reactive Substances) values of Som Khaek chili paste under integrated production and storage systems during 5 weeks of storage

Sample code	Storage time (weeks)				
	1	2	3	4	5
PP	1.91±0.01 ^{aA}	1.16±0.00 ^{CA}	1.24±0.00 ^{bcA}	1.57±0.04 ^{bA}	1.46±0.04 ^{baB}
GB	1.59±0.02 ^{bb}	1.15±0.00 ^{CA}	1.23±0.00 ^{CA}	1.62±0.00 ^{ba}	1.31±0.01 ^{CB}
RP	1.86±0.02 ^{aA}	1.18±0.00 ^{CA}	1.27±0.01 ^{bcA}	1.40±0.01 ^{bb}	1.52±0.01 ^{ba}

Values are presented as mean ± SD. Different lowercase letters within the same row indicate significant differences during storage, whereas different uppercase letters within the same column indicate significant differences among production and storage systems at the same storage time ($p \leq 0.05$).

Table 6 Changes in peroxide value of Som Khaek chili paste under integrated production and storage systems during 5 weeks of storage

Sample code	Storage time (weeks)				
	1	2	3	4	5
PP	2.32±0.03 ^{aA}	2.28±0.09 ^{ab}	2.21±0.06 ^{abA}	2.27±0.00 ^{abA}	2.22±0.03 ^{ba}
GB	2.31±0.10 ^{aA}	2.52±0.03 ^{aA}	2.36±0.03 ^{ba}	2.32±0.06 ^{ba}	2.14±0.15 ^{CA}
RP	2.25±0.07 ^{aA}	2.32±0.02 ^{ab}	2.09±0.00 ^{bb}	2.31±0.12 ^{aA}	2.26±0.04 ^{aA}

Values are presented as mean ± SD. Different lowercase letters within the same row indicate significant differences during storage, whereas different uppercase letters within the same column indicate significant differences among production and storage systems at the same storage time ($p \leq 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแสดแสดงดัง Table 7 พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของทุกระบบการผลิตและการเก็บรักษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา โดย PP เพิ่มขึ้นจาก 1.5×10^3 CFU/g ในสัปดาห์ที่ 1 เป็น 6.9×10^3 CFU/g ในสัปดาห์ที่ 5 ขณะที่ GB และ RP เพิ่มขึ้นจาก 1.5×10^3 และ 1.4×10^3 CFU/g เป็น 4.4×10^3 และ 3.8×10^3 CFU/g ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าที่ตรวจพบยังคงต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำพริกผัด (มผช. 321/2556) ซึ่งกำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 CFU/g สำหรับยีสต์และรา พบว่ามีค่าน้อยกว่า 10 CFU/g ในทุกระบบการผลิตและการเก็บรักษาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ขณะที่โคลิฟอร์มและ *E. coli* มีค่าน้อยกว่า 3 MPN/g ในทุกระบบ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว สะท้อนถึงสุขลักษณะการผลิตและการจัดการผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมตลอดระยะเวลาการศึกษา แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอาจสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ค่า pH ของทุกตัวอย่างยังคงต่ำกว่า 4.60 และค่า a_w อยู่ในช่วง 0.84–0.86 ตลอดการศึกษา ซึ่งเมื่อทำงานร่วมกับองค์ประกอบของสูตร เช่น เกลือ กรดอินทรีย์จากส้มแสด และการให้ความร้อนภายหลังการบรรจุ สามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นและเพิ่มความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา (Jimenez et al., 2024) นอกจากนี้ GB และ RP ภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน มีแนวโน้มแสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่า PP ในช่วงปลายการเก็บรักษา สะท้อนว่าผลรวมของการให้ความร้อนภายหลังการบรรจุ ชนิดบรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษา อาจมีส่วนช่วยเพิ่มความคงตัวทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะการผลิตจริงของวิสาหกิจชุมชน (Fellows, 2017; Hassoun et al., 2020)

Table 7 Microbiological quality of Som Khaek chili paste under integrated production and storage systems during 5 weeks of storage

Components	Sample code	Storage time (weeks)				
		1	2	3	4	5
Total viable count (CFU/g)	PP	1.5×10^3	1.7×10^3	3.4×10^3	5.9×10^3	6.9×10^3
	GB	1.5×10^3	1.6×10^3	2.4×10^3	4.3×10^3	4.4×10^3
	RP	1.4×10^3	1.8×10^3	2.2×10^3	2.8×10^3	3.8×10^3
Yeast and mold count (CFU/g)	PP	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	GB	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	RP	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Coliform (MPN/g)	PP	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	GB	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	RP	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
<i>E. coli</i> (MPN/g)	PP	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	GB	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	RP	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

Values represent microbiological counts obtained from laboratory analyses of samples collected at each storage interval. Microbiological data were presented descriptively to evaluate microbiological stability under different production and storage systems and to assess compliance with the Thai Community Product Standard for fried chili paste (TCPS 321/2556).

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงดัง Table 8 พบว่า คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในหลายคุณลักษณะ ($p \leq 0.05$) ด้านสี ทุกกระบวนการผลิตและการเก็บรักษามีคะแนนลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดย PP ลดลงจาก 8.23 ± 0.62 ในสัปดาห์ที่ 1 เป็น 7.63 ± 0.49 ในสัปดาห์ที่ 5 ขณะที่ GB และ RP มีแนวโน้มลดลงในลักษณะใกล้เคียงกัน และมีคะแนนต่ำกว่า PP ในช่วงปลายการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ที่รายงานใน Table 3 และอาจสัมพันธ์กับการเสื่อมสลายของรงควัตถุธรรมชาติและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา (Jamaluddin et al., 2022; Wattanayon et al., 2024) ด้านกลิ่น คะแนนการยอมรับของทุกระบบมีแนวโน้มลดลงตลอดการเก็บรักษา โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างระบบในแต่ละช่วงเวลา ($p > 0.05$) การลดลงของคะแนนกลิ่นอาจสัมพันธ์กับการสูญเสียสารประกอบระเหยและการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของค่า TBARS และ PV ที่พบในการศึกษานี้ ด้านรสชาติ ทุกระบบยังคงมีคะแนนมากกว่า 7.0 ตลอดระยะเวลาการศึกษา สะท้อนว่าผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค แม้ว่าคะแนนจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับรสชาติระหว่างการเก็บรักษา ขณะที่ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ในช่วง 4.43–4.55 ตลอดการศึกษา ด้านเนื้อสัมผัส PP มีแนวโน้มคะแนนการยอมรับได้ดีกว่าในช่วงปลายการเก็บรักษา ขณะที่ระบบ GB และ RP มีคะแนนลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นและค่า a_w ที่รายงานใน Table 4 สำหรับความชอบโดยรวม ทุกระบบยังคงมีคะแนนอยู่ในระดับยอมรับได้ (7.33–8.06 คะแนน) ตลอดระยะเวลาการศึกษา แม้ว่าจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสดังกล่าวสะท้อนว่าระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่แตกต่างกันส่งผลต่อการคงอยู่ของคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแฉกในระดับที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ทุกระบบยังคงสามารถรักษาการยอมรับของผู้บริโภคให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตลอดระยะเวลาการศึกษา ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าความคงตัวด้านประสาทสัมผัสของน้ำพริกส้มแฉกมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาที่เกิดขึ้นระหว่าง

การเก็บรักษา โดย PP มีแนวโน้มคงคะแนนการยอมรับด้านสีและเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าในช่วงปลายการเก็บรักษา ขณะที่ GB สามารถรักษาคะแนนความชอบโดยรวมได้ใกล้เคียงกับ PP ส่วน RP แม้จะแสดงแนวโน้มของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าในช่วงปลายการเก็บรักษา แต่มีคะแนนด้านรสชาติและความชอบโดยรวมลดลงมากกว่าอีกสองระบบ ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าความคงตัวของคุณภาพน้ำพริกส้มแขกภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่แตกต่างกันเกิดจากอิทธิพลร่วมของหลายปัจจัย ทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านสี ความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน สมดุลน้ำในผลิตภัณฑ์ และความคงตัวทางจุลชีววิทยา โดยคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Wanna et al. (2024) ที่รายงานว่าผลิตภัณฑ์น้ำพริกภายใต้ระบบการผลิตที่แตกต่างกันมีคุณภาพทางเคมี จุลชีววิทยาและการยอมรับทางประสาทสัมผัสแตกต่างกัน สะท้อนว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับการยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้ การศึกษานี้ดำเนินการภายใต้สภาวะการผลิตจริงของวิสาหกิจชุมชน จึงสามารถสะท้อนความคงตัวของคุณภาพผลิตภัณฑ์ภายใต้ระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่ใกล้เคียงกับการผลิตและการกระจายสินค้าจริงได้มากกว่าการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ องค์ความรู้ที่ได้จึงสามารถนำไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจด้านการผลิต การเลือกแนวทางการบรรจุและการเก็บรักษา ตลอดจนการจัดการผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนได้โดยตรง

Table 8 Changes in sensory evaluation scores of Som Khaek chili paste under integrated production and storage systems during 5 weeks of storage

Sensory attribute	Sample code	Storage time (weeks)				
		1	2	3	4	5
Color	PP	8.23±0.62 ^{aA}	8.16±0.64 ^{aA}	7.80±0.55 ^{bA}	7.86±0.43 ^{bA}	7.63±0.49 ^{bA}
	GB	8.30±0.59 ^{aA}	7.96±0.49 ^{bA}	7.76±0.50 ^{bA}	7.43±0.77 ^{cB}	7.33±0.71 ^{cB}
	RP	8.43±0.62 ^{aA}	7.83±0.59 ^{bA}	7.70±0.59 ^{bcA}	7.46±0.68 ^{cB}	7.36±0.61 ^{cB}
Odor	PP	8.03±0.55 ^{aA}	8.00±0.74 ^{aA}	7.63±0.49 ^{bcA}	7.73±0.44 ^{abA}	7.40±0.72 ^{cA}
	GB	8.20±0.66 ^{aA}	8.16±0.69 ^{aA}	7.53±0.68 ^{bA}	7.43±0.72 ^{bA}	7.56±0.62 ^{bA}
	RP	8.56±0.56 ^{aA}	8.36±0.61 ^{aA}	7.50±0.73 ^{bA}	7.46±0.62 ^{bA}	7.30±0.65 ^{bA}
Taste	PP	7.86±0.50 ^{aA}	7.80±0.71 ^{abA}	7.83±0.59 ^{abA}	7.66±0.60 ^{abA}	7.50±0.57 ^{bA}
	GB	7.96±0.55 ^{aA}	7.90±0.71 ^{abA}	7.83±0.53 ^{abA}	7.60±0.62 ^{bcA}	7.46±0.62 ^{cA}
	RP	7.90±0.80 ^{aA}	7.93±0.69 ^{aA}	7.76±0.62 ^{aA}	7.80±0.40 ^{aA}	7.13±0.68 ^{bB}
Texture	PP	8.00±0.52 ^{aA}	7.96±0.55 ^{aA}	7.73±0.58 ^{aA}	7.80±0.40 ^{aA}	7.76±0.62 ^{aA}
	GB	7.86±0.62 ^{aA}	8.06±0.78 ^{aA}	7.83±0.46 ^{abA}	7.66±0.60 ^{bA}	7.33±0.71 ^{cB}
	RP	8.06±0.44 ^{aA}	8.00±0.58 ^{abA}	7.76±0.56 ^{bcA}	7.70±0.46 ^{cA}	7.36±0.66 ^{dB}
Overall liking	PP	8.03±0.61 ^{aA}	7.83±0.69 ^{aA}	7.83±0.53 ^{aA}	7.76±0.43 ^{abA}	7.46±0.62 ^{bA}
	GB	8.06±0.63 ^{aA}	8.03±0.55 ^{aA}	7.80±0.48 ^{abA}	7.56±0.62 ^{bA}	7.63±0.49 ^{bA}
	RP	7.96±0.80 ^{aA}	7.93±0.58 ^{abA}	7.73±0.58 ^{abA}	7.60±0.56 ^{bcA}	7.33±0.66 ^{cB}

Values are presented as mean ± SD. Different lowercase letters within the same row indicate significant differences during storage, whereas different uppercase letters within the same column indicate significant differences among production and storage systems at the same storage time ($p \leq 0.05$).

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระบบการผลิตและการเก็บรักษาที่แตกต่างกันมีผลต่อความคงตัวของคุณภาพน้ำพริกส้มแขก ภายใต้สภาวะการผลิตจริงของวิสาหกิจชุมชน โดยระบบ PP ซึ่งเป็นรูปแบบการบรรจุในถ้วยพอลิโพรพิลีนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น มีแนวโน้มคงคุณลักษณะด้านสี เนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสได้ดีกว่าในช่วงปลายการเก็บรักษา

ขณะที่ระบบ GB และ RP ซึ่งผ่านการให้ความร้อนภายหลังการบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีแนวโน้มให้ความคงตัวทางจุลชีววิทยาสูงกว่า โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดยังคงต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำพริกผัด (มผช. 321/2556) ตลอดระยะเวลาการศึกษา และไม่พบยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *E. coli* เกินเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้ ทุกระบบยังคงรักษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และการยอมรับของผู้บริโภคให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตลอดระยะเวลาการศึกษา

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าการพิจารณาบรรจุภัณฑ์ กระบวนการให้ความร้อนภายหลังการบรรจุ และอุณหภูมิการเก็บรักษาในลักษณะของระบบการผลิตและการเก็บรักษาแบบบูรณาการ สามารถใช้เป็นแนวทางสนับสนุนการรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแช่กายได้บริบทการผลิตจริงของวิสาหกิจชุมชนได้ โดยระบบ PP เหมาะสมกับการจำหน่ายภายใต้ระบบแช่เย็นและการบริโภคภายในพื้นที่ ขณะที่ระบบ GB และ RP มีศักยภาพสำหรับการจัดเก็บและการกระจายสินค้าในสภาวะอุณหภูมิห้อง ซึ่งอาจช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นด้านการตลาดและการขนส่งของชุมชน องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกแนวทางการผลิตและการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำพริกส้มแช่และผลิตภัณฑ์อาหารพื้นถิ่นในระดับวิสาหกิจชุมชน อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาต้นทุนการผลิต ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และการยอมรับของตลาดเพิ่มเติม เพื่อสนับสนุนการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้ได้รับการรับรองการยกเว้นการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ตามหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นมาตรฐานสากล เลขที่รับรอง COE No. 015/2568 เนื่องจากการศึกษามีการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสกับมนุษย์ และไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงเกินกว่าความเสี่ยงในชีวิตประจำวันของผู้เข้าร่วมวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรปลาลำคอกช้าง ตำบลแม่หวาด อำเภอรือเสาะ จังหวัดยะลา สำหรับการสนับสนุนตัวอย่างและข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AOAC International. (2023). *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (22nd ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- Apirattananusorn, S., & Chinabark, K. (2013). Development of packages for ready-to-eat chili paste products. *KMUTT Research and Development Journal*, 36(4), 451–464. <https://journal.kmutt.ac.th/SearchDetail/81>
- Baky, M. H., Fahmy, H., & Farag, M. A. (2022). Recent advances in *Garcinia cambogia* nutraceuticals in relation to its hydroxy citric acid level: A comprehensive review of its bioactive production, formulation, and analysis with future perspectives. *ACS Omega*, 7(30), 25948–25957. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02838>
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Jr., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (Eds.). (2020). *Water activity in foods: Fundamentals and applications* (2nd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118765982>
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), Article 429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
- Fellows, P. J. (2017). *Food processing technology: Principles and practice* (4th ed.). Woodhead Publishing.
- Hassoun, A., Ojha, S., Tiwari, B., Rustad, T., Nilsen, H., Heia, K., Cozzolino, D., Bekhit, A. E.-D., & Wold, J. P. (2020). Monitoring thermal and non-thermal treatments during processing of muscle foods: A comprehensive review of recent technological advances. *Applied Sciences*, 10(19), Article 6802. <https://doi.org/10.3390/app10196802>

- Jamaluddin, F., Noranizan, M. A., Azman, E. M., Mohamad, A., Yusof, N. L., & Sulaiman, A. (2022). A review of clean-label approaches to chilli paste processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 763–773. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15293>
- Jimenez, P. S., Bangar, S. P., Suffern, M., & Whiteside, W. S. (2024). Understanding retort processing: A review. *Food Science & Nutrition*, 12(3), 1545–1563. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3912>
- Meléndez-Martínez, A. J., Esquivel, P., & Rodríguez-Amaya, D. B. (2023). Comprehensive review on carotenoid composition: Transformations during processing and storage of foods. *Food Research International*, 169, Article 112773. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112773>
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Peanparkdee, M., Patrawart, J., & Iwamoto, S. (2020). Physicochemical stability and in vitro bioaccessibility of phenolic compounds and anthocyanins from Thai rice bran extracts. *Food Chemistry*, 329, Article 127157. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127157>
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2010). Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews*, 39(11), 4067–4079. <https://doi.org/10.1039/B922183M>
- Tasaudom, U., Srapinkaraburi, W., & Nipronrum, S. (2009). The production improvement for shelf-life extension of chili paste products. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 17(2), 136–144. <https://www.thaiscience.info/journals/Article/NUJ/10896558.pdf>
- U.S. Food and Drug Administration. (2023). *Bacteriological analytical manual (BAM)*. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>
- Wanna, C., Soi-Ampornkul, R., & Sawangdee, Y. (2024). Comparative evaluation of physicochemical compositions, antioxidant activities and microbiological quality of three chili pastes from *Carissa carandas* L. under different conditions. *Food Research*, 8(1), 70–81. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(1\).303](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(1).303)
- Wattanayon, W., Pohloh, N., Noitubtim, M., Mamah, S., Sanitt, P., & Temdee, W. (2024). The duration of heating on shelf-life and quality of Thai sour curry paste. *Journal of Life Science Agriculture and Technology*, 3(1), 70–80. <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/psj/article/view/1802>
- Weeragul, K., Nantaragsa, N., Siripanwattana, C., Gaowmanee, T., & Poonnakasem, N. (2024). Bioactive compounds and nutrition of Thai sauces in retort pouch and physicochemical properties kinetics during storage. *Journal of Current Science and Technology*, 14(2), Article 28. <https://doi.org/10.59796/jcst.V14N2.2024.28>