

การใช้สมุนไพรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มคุณภาพความปลอดภัย ด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส

Improving Microbiological Safety and Shelf-Life of Raw Seasoned Minced Pork Products Preserved by Thai-Medicinal Plants

ปัทมา ศรีน้ำเงิน¹ ปรียดา สิทธิศาสตร์¹ และฐิติกร มหิสนันท์^{2*}

Pattama Srinamngoen¹ Priyada Sittisart¹ and Thitikorn Mahidsanan^{2*}

Received: June 16, 2025; Revised: September 17, 2025; Accepted: September 18, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้สมุนไพรไทย 3 ชนิด ได้แก่ ใบหม่อน (*Morus alba*) ข่า (*Alpinia galanga*) และกระชาย (*Boesenbergia rotunda*) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยทางจุลชีววิทยาและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส (Raw Seasoned Minced Pork Products) ภายใต้บรรจุกักตุนที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นระยะเวลา 6 วัน โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีสมุนไพร (สูตร 1) และเติมกระเทียม (*Allium sativum*) (สูตร 2) ซึ่งเป็นสมุนไพรที่ใช้ในการถนอมผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ ผลการศึกษาพบว่า การเติมสมุนไพรไทยมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เนื้อสัมผัส ค่าสี (L^* a^* b^*) คุณสมบัติน้ำเค็ม (ค่า pH) และทางด้านจุลินทรีย์ โดยที่การเติมใบหม่อน (สูตร 3) และข่า (สูตร 4) มีผลต่อการเพิ่มความแข็งเนื้อสัมผัส ในขณะที่การเติมกระชาย (สูตร 5) มีผลต่อการเพิ่มความยืดหยุ่นและเหนียวนุ่มได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การเติมกระเทียม (สูตร 2) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน ไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้ค่า pH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการเติมใบหม่อน ข่า และกระชาย (สูตร 3 4 และ 5 ตามลำดับ) เช่นเดียวกับคุณภาพด้านสี โดยเฉพาะการเติมกระชาย (สูตร 5) มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีแดง (a^*) คงที่ตลอดการเก็บรักษานาน 6 วัน ซึ่งให้เห็นว่ากระชายมีประสิทธิภาพ ในการรักษาองค์ประกอบสีในเนื้อหมูได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยังสามารถควบคุมการเจริญของแบคทีเรียทั้งหมด ($<6 \log \text{CFU/g}$) รวมถึงแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร *S. aureus* และ *B. cereus* (1.89 และ 1.93 $\log \text{CFU/g}$) โดยเฉพาะไม่พบการปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. ตลอดการเก็บรักษานาน 6 วันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การใช้สมุนไพรช่วยปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ จุลชีววิทยา และสีของหมูปดปรุงรสที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการเติมกระชาย (สูตร 5) สามารถคงคุณภาพและความปลอดภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคต่อไป

คำสำคัญ : หมูปดปรุงรส; ความปลอดภัยในอาหาร; อายุการเก็บ; สมุนไพร

¹ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

² คณะนวัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

¹ Faculty of Science and Arts, Burapha University, Chanthaburi Campus

² Faculty of Innovation and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Isan

* Corresponding Author, Tel. 08 4962 3641, E - mail: thitikorn.ma@rmuti.ac.th

Abstract

This study aimed to apply three Thai herbs, including mulberry leaf (*Morus alba*), galangal (*Alpinia galanga*), and fingerroot (*Boesenbergia rotunda*) to enhance microbiological safety and extend the shelf life of raw seasoned minced pork product. The samples were vacuum-packaged and stored at 4 °C for 6 days. The effectiveness of the herbs was compared with a control group without herbal addition (formula 1) and a group supplemented with garlic (*Allium sativum*) (formula 2), which is commonly used as raw meat preservation. The results demonstrated that Thai herbs affected the physical properties, texture, color parameters (L^* , a^* , b^*), chemical properties (pH), and microbiological quality of the raw seasoned minced pork product. The supplemented with mulberry leaves (formula 3) and galangal (formula 4) resulted in a significant increase in firmness of raw seasoned minced pork product, while the supplemented with fingerroot (formula 5) resulted in a significant improvement in elasticity and tenderness. Moreover, supplemented with garlic (formula 2) was less effective in controlling pH, resulting in a significantly rapid decrease in pH after 6 days of storage compared to the samples supplemented with mulberry leaves, galangal, and fingerroot (formulas 3, 4, and 5, respectively). Similarly, in terms of color quality control, the supplemented with fingerroot (Formula 5) maintained stable lightness (L^*) and redness (a^*) values throughout the 6 days storage period, indicating its effectiveness in preserving the color characteristics of product. It was also able to effectively control the growth of total bacteria ($<6 \log \text{CFU/g}$) including pathogens *S. aureus* and *B. cereus* (1.89 and 1.93 $\log \text{CFU/g}$), and no contamination of *Salmonella* spp. was detected during the 6 days storage period. Therefore, the use of herbs to improve the physical, microbiological, and color qualities of seasoned minced pork, particularly the addition of fingerroot (formula 5), which most effectively quality and safety represents a promising natural approach for the development of safe processed meat products for consumers.

Keywords: Raw Seasoned Minced Pork; Food Safety; Shelf-Life; Herbal Plant

บทนำ

ผลิตภัณฑ์หมูบดปรุงรส (Raw Seasoned Minced Pork Product) เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ทางการค้า ที่สามารถจัดอยู่ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปดิบ ที่ปลอดภัยหรือเอากระดูกออกด้วยเครื่องจักร ที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่คุ้นเคย เช่น เนื้อวัวสดแฮมเบอร์เกอร์ โดยที่ผลิตภัณฑ์หมูบดปรุงรสนี้ ได้รับความนิยม อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากสะดวกในการประกอบอาหารและรสชาติถูกปากผู้บริโภค อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน จึงมีความเสี่ยงต่อการเสื่อมเสียง่าย ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความชื้น (Moisture Content) สูง อีกทั้งมีโปรตีนและไขมันเป็นองค์ประกอบหลักที่เป็นแหล่งคาร์บอน-ไนโตรเจน (Carbon-Nitrogen Source) ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ (Djordjevic et al., 2019) อีกทั้งตลอดห่วงโซ่การผลิตมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่กระบวนการฆ่าสัตว์ การแปรรูป การบรรจุหีบห่อ ไปจนถึงการจัดจำหน่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมหรือไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ หนึ่งในปัญหาสำคัญที่กระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์หมูบดปรุงรส คือ การอยู่รอด การเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย โดยเฉพาะจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร เช่น *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Salmonella* spp. และ *Escherichia coli* ซึ่งไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น กลิ่น สี และเนื้อสัมผัส แต่ยังก่อให้เกิดโรคทางอาหารได้ เช่น อาหารเป็นพิษ อาเจียน หรือท้องเสีย (Mansur et al., 2016;

Scott et al., 2020) นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid Oxidation) ยังเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป เกิดกลิ่นเหม็นหืน รวมถึง การเปลี่ยนแปลงสี และการลดลงของคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ซึ่งการเกิดออกซิเดชันสามารถเร่งได้ด้วยแสง อุณหภูมิ และการสัมผัสกับออกซิเจน (Falowo et al., 2014) ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลดลง

ในปัจจุบันการควบคุมการเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์ เนื้อสัตว์แปรรูป รวมถึงผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสมักใช้สารกันบูดและ/หรือสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เช่น โซเดียมไนไตรต์ หรือบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) ซึ่งแม้จะมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษา แต่การบริโภคในปริมาณมากหรือเป็นเวลานานอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (Papuc et al., 2018) ทำให้ผู้บริโภคในยุคปัจจุบันมีความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารที่ปราศจากสารเคมีหรือมีส่วนผสมจากธรรมชาติเพิ่มขึ้น จากแนวโน้มดังกล่าวมีการศึกษานำสารสกัดจากพืชสมุนไพรธรรมชาติ มาใช้เป็นทางเลือกในการถนอมอาหาร หรือยืดอายุการเก็บรักษา โดยเฉพาะพืชสมุนไพรไทย (Thia-Medicinal Plants) ซึ่งมีฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลาย ทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านจุลชีพ (Yuwang et al., 2019; Rattanahemboot et al., 2022) โดยทั่วไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปนิยมใช้กระเทียม (*Allium sativum*) ซึ่งเป็นสมุนไพรที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ และการยอมรับจากผู้บริโภคในวงกว้าง ทั้งนี้เนื่องจากกระเทียมมีองค์ประกอบทางชีวภาพที่สำคัญหลายชนิด เช่น ซาโปนิน (Saponins) ซาโปจีนิน (Sapogenin) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ซึ่งมีความคงตัวต่อกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา โดยเฉพาะกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น ฟลาโวน (Flavone) และเคอร์ซีทิน (Quercetin) รวมถึงสารประกอบซัลเฟอร์ (Sulfur) เช่น แอลลิล-ซิสเทอีน (Allyl-Cysteine) ไดแอลลิลซัลไฟด์ (Diallyl Sulfide) และแอลลิลไตรซัลไฟด์ (Allyl Trisulfide) มีบทบาทสำคัญในด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของอาหาร และเสริมความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Lanzotti, 2006; Brewer, 2011; Kovarović et al., 2019) แม้กระเทียมจะเป็นสมุนไพรที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์มาอย่างยาวนาน แต่การเสริมหรือประยุกต์ใช้สมุนไพรชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติทางชีวภาพที่คล้ายคลึงหรือเสริมฤทธิ์กัน อาจเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ที่มีคุณภาพและความปลอดภัยสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ หรือเพิ่มฤทธิ์ต้านจุลชีพ (Antimicrobial) ใบหม่อน (*Morus alba* L.) ประกอบด้วยออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ เช่น สารฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* *B. pumilus*. และ *E. coli* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Cui et al., 2019; Chanthabal and Mahidsanan, 2023) เช่นเดียวกับข่า (*Alpinia galanga* (L.) Willd.) เป็นหนึ่งในสมุนไพรและเครื่องเทศที่นิยมนำมาประกอบอาหารเนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหยที่สำคัญ ได้แก่ ซิเนออล (Cineole) 2,2-ไดเมทิล-3-เมทิลลีนโนรบอร์นान (2,2-Dimethyl-3-methylenenorbornane) และอัลฟา-เคอร์คูมีเนน (α -Curcumenene) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเซลล์มะเร็ง รวมถึงยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบอย่างมีประสิทธิภาพ (Aziz et al., 2024) นอกจากนี้ กระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.) อุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่แสดงฤทธิ์ต้านจุลชีพและต้านออกซิเดชันได้ดี โดยสามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* และ *B. cereus* (Sopitthummakhun et al., 2021)

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสด้วยการใช้สมุนไพร ใบหม่อน ข่า และกระชาย ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยไม่พึ่งพาสารเคมีสังเคราะห์ เพื่อหาความเป็นไปได้ทดแทนการใช้กระเทียม โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ เนื้อสัมผัส สี ด้านเคมี เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงไป และทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคที่มองหาอาหารที่มีคุณภาพ ปลอดภัย และมีความเป็นธรรมชาติโดยไม่พึ่งสารเคมีสังเคราะห์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบและกรรมวิธีการผลิตหมูปดปรุงรสสมุนไพร

ในกระบวนการผลิตหมูปดปรุงรสมีวัตถุดิบในการผลิตดังนี้ หมูติดมัน ขอสปรุงรส ซีอิ๊วขาว ผงปรุงรสน้ำตาลทราย แป้งมัน ผงฟู รากผักชี พริกไทย กระเทียม และสมุนไพรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ใบหม่อน ข่า และกระชาย ขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์มีรายละเอียดดังนี้ การเตรียมเนื้อหมู นำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้น

หั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 2×2 เซนติเมตร แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า (อัตราความเร็ว 160 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที) เพื่อให้ได้เนื้อหมูปดที่มีเนื้อสัมผัสละเอียดสม่ำเสมอ วัตถุดิบสมุนไพร ได้แก่ กระเทียม ใบหม่อน ข่า และกระชาย ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง เพื่อลดการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก จากนั้นปล่อยให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที ก่อนนำมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องปั่นไฟฟ้า (อัตราความเร็ว 160 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที) จากนั้นนำส่วนผสมที่เตรียมดังตารางที่ 1 โดยที่สูตร 1 (Negative Control) หรือสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร ประกอบด้วย หมูติดมันบด ซอสปรุงรส ซีอิ๊วขาว ผงปรุงรส น้ำตาลทราย แป้งมัน ผงฟู รากผักชี และพริกไทย สูตร 2 หรือสูตรที่มีการเติมกระเทียมที่ใช้ทั่วไปในผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ประกอบด้วยส่วนประกอบเหมือนกับสูตร 1 ที่มีการเติมกระเทียม เช่นเดียวกับสูตร 3 4 และ 5 ที่มีการเติมใบหม่อน ข่า และกระชาย ตามลำดับ ทุกสูตรผสมของกระบวนการผลิต ทำการผสมต่อเนื่องนาน 2 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสในแต่ละสูตรบรรจุลงในถุงสุญญากาศโดยใช้ เครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ (Vacuum Sealer) เพื่อควบคุมปัจจัยออกซิเจน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของ เนื้อสัตว์ (Kemberger-Fischer et al., 2017) บรรจุแบบภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ (Aseptic Condition) เก็บรักษาและ ติดตามผลตัวอย่างที่บรรจุแล้วถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°C และทำการศึกษาคูณภาพตัวอย่างในวันที่ 0 2 4 และ 6 วัน

ตารางที่ 1 วัตถุดิบและส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตหมูปดปรุงรส

วัตถุดิบ	หมูปดปรุงรส (% w/w)				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
หมูติดมันบด	75.76	72.99	72.99	72.99	72.99
ซอสปรุงรส	3.79	3.65	3.65	3.65	3.65
ซีอิ๊วขาว	3.79	3.65	3.65	3.65	3.65
ผงปรุงรส	2.27	2.19	2.19	2.19	2.19
น้ำตาลทราย	3.79	3.65	3.65	3.65	3.65
แป้งมัน	3.79	3.65	3.65	3.65	3.65
ผงฟู	2.27	2.19	2.19	2.19	2.19
รากผักชี	2.27	2.19	2.19	2.19	2.19
พริกไทย	2.27	2.19	2.19	2.19	2.19
กระเทียม	0	3.65	0	0	0
ใบหม่อน	0	0	3.65	0	0
ข่า	0	0	0	3.65	0
กระชาย	0	0	0	0	3.65

หมายเหตุ: % w/w หมายถึงร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมแต่ละชนิดเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมทั้งหมด ในแต่ละสูตรโดยที่ ส่วนผสมพื้นฐาน ได้แก่ หมูติดมัน ซอสปรุงรส ซีอิ๊วขาว ผงฟู ผงปรุงรส น้ำตาลทราย แป้งมัน รากผักชี และ พริกไทย ใช้ในปริมาณเท่ากันทุกสูตร

สูตร 1 คือ สูตรควบคุม (Negative Control) ไม่มีการเติมสมุนไพร

สูตร 2 คือ ที่มีส่วนผสมของกระเทียมที่มีจำหน่ายแล้วในเชิงพาณิชย์

สูตร 3 คือ ที่มีการเติมใบหม่อนเพิ่ม

สูตร 4 คือ ที่มีการเติมข่าเพิ่ม

สูตร 5 คือ ที่มีการเติมกระชายเพิ่ม

2. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

การทดลองนี้ได้ดำเนินการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสที่มีการเติมสมุนไพร (ใบหม่อน ข่า และกระชาย) เปรียบเทียบกับที่ไม่เติมกระเทียม (Negative Control) และหมูปดปรุงรสที่เติมกระเทียม โดยแบ่งการวิเคราะห์ 3 วิธีการ ได้แก่ การวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analysis) การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Analysis) และค่าสี (CIE L^* a^* b^* Analysis) ดังนี้

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร โดยใช้เครื่องวัดคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer CT3 10K, BROOKFIELD, USA) หัววัด TA41 ทำการวัดค่าความแน่น ความแข็ง และแรงต้านการตัดของผลิตภัณฑ์ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างด้านเนื้อสัมผัสระหว่างกลุ่มตัวอย่าง (Migdal et al., 2020)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ผสมตัวอย่าง 10 กรัม กับน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 90 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นใช้เครื่องปั่นผสม (Blender) ให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 1 นาที แล้วจึงทำการวัดค่าด้วย pH Meter (Mettler Toledo, Switzerland) ของสารละลาย เพื่อประเมินค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสูตร

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพในด้านสี วัดค่าความแตกต่างของสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab (Chroma Meter CR-410, Konica Minolta, Tokyo, Japan) โดยการวัดค่าพิกัดสีในระบบ CIE ได้แก่ ค่า L^* แสดงระดับความสว่าง (จากสีดำ $-L^*$ ไปจนถึงสีขาว $+L^*$) ค่า a^* แสดงระดับสีในแกนเขียวถึงแดง (จากสีเขียว $-a^*$ ถึงสีแดง $+a^*$) และค่า b^* แสดงระดับสีในแกนน้ำเงินถึงเหลือง (จากสีน้ำเงิน $-b^*$ ถึงสีเหลือง $+b^*$) การวิเคราะห์ทุกค่าจะดำเนินการในวันที่ 0 2 4 และ 6 ของการเก็บรักษา เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา

3. การวิเคราะห์สมบัติทางด้านจุลินทรีย์

3.1 การตรวจนับแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Count; TPC)

นำผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสแต่ละสูตรน้ำหนัก 10 กรัม เติมใน 0.85% (w/v) Sodium Chloride ปริมาตร 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ เพื่อให้ได้สารแขวนลอยในความเข้มข้น 10^{-1} จากนั้นทำการเจือจางแบบสิบเท่า (10-Fold Serial Dilution) ต่อเนื่องจนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการนับจำนวนโคโลนี จากแต่ละระดับความเจือจาง นำตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ปิเปตลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Plate Count Agar (PCA, HiMedia Laboratories, India) เกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าจานเลี้ยงเชื้อด้วยเทคนิค Spread Plate ทำการทดลองในลักษณะซ้ำ 3 ซ้ำ (Triplicate) จากนั้นนำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับทีกจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบนจานที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 25 - 250 โคโลนีต่อจาน (Colony Forming Units; CFU) (Bacteriological Analytical Manual (BAM), 2001) เพื่อคำนวณหาค่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในหน่วย log CFU/g ของตัวอย่าง

3.2 การตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร

การตรวจนับจำนวน *S. aureus* ดำเนินการโดยการปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการเจือจางในแต่ละระดับปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Baird-Parker Agar (BPA, HiMedia Laboratories, India) ที่มีส่วนผสมของ Egg Yolk Tellurite Emulsion (HiMedia Laboratories, India) เกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าจานเลี้ยงเชื้อด้วยเทคนิค Spread Plate ทำการทดลองในลักษณะซ้ำ 3 ซ้ำ (Triplicate) นำจานเพาะเลี้ยงไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง ตรวจนับโคโลนีสีดำที่ปรากฏบนจานอาหารที่มีจำนวนอยู่ระหว่าง 25 - 250 โคโลนีต่อจาน และรายงานในรูปของ log CFU/g ของตัวอย่าง (Gunaseena et al., 2021)

การตรวจนับจำนวน *B. cereus* โดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเจือจางแบบสิบเท่า (10-Fold Serial Dilution) ปิเปตตัวอย่างที่เจือจางแล้วปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Mannitol Egg Yolk Polymyxin Agar (MYP; HiMedia M636, India) เกลี่ยให้ทั่วด้วยเทคนิค Spread Plate ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการบ่มตรวจนับโคโลนีสีชมพูที่ปรากฏบนอาหารเลี้ยงเชื้อจำนวนอยู่ในช่วง 25 - 250 โคโลนีต่อจาน และผลการนับจะถูกนำไปคำนวณ และรายงานในรูปของ log CFU/g ของตัวอย่าง (Harper et al., 2011)

การตรวจหาเชื้อ *Salmonella* spp. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสแต่ละสูตร 25 กรัม เติมใน Lactose Broth (HiMedia, India) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Pre-Enrichment) หลังจากการบ่มปิเปตปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดที่บรรจุอาหารเสริมเลือก (Selective Enrichment Broth) ชนิด Rappaport-Vassiliadis (RV) Medium ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นบ่มต่อที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลา นำเข็มฉีดยา (Inoculating Loop) และบริเวณผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวใน RV Medium แล้วนำมาขีดบนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะ Xylose Lysine Deoxycholate Agar (XLD agar; HiMedia, India) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โคโลนีของ *Salmonella* spp. ที่เจริญบน XLD จะมีลักษณะเฉพาะ คือ โคโลนีมีสีแดงและมีจุดกลางสีดำอันเกิดจากการสร้าง H₂S การยืนยันชนิดของจุลินทรีย์ควรดำเนินการต่อยด้วย Biochemical Tests หรือวิธี Molecular ตามความเหมาะสม (Pal and Marshall, 2009)

การตรวจเชื้อ *E. coli* ด้วยวิธี MPN (Most Probable Number) ตัวอย่างเนื้อจากแล้วให้มีระดับความเจือจาง 10⁻¹ 10⁻² และ 10⁻³ ในระบบ 3 Tube MPN โดยใช้ Series 3:3:3 ปิเปตสารละลายตัวอย่างในแต่ละระดับความเจือจางของ 3 Tube MPN อย่างละ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Sulfate Tryptose Broth (LST; HiMedia, India) ที่มีหลอดดักแก๊สคว่ำอยู่ ความเจือจางละ 3 หลอด บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C ติดตามผลในหลอดที่เกิดแก๊สที่เวลา 24 ชั่วโมง สำหรับหลอดที่ไม่เกิดแก๊สให้บ่มต่อไปอีกให้ครบเวลา 48 ชั่วโมง ถ่ายเชื้อจากหลอดที่เกิดแก๊สลงในหลอดอาหาร Brilliant Green Lactose Bile Broth (BGLB broth; HiMedia, India) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 24 ชั่วโมง แล้วทำการยืนยันผลโดยการถ่ายเชื้อลง *Escherichia coli* broth (EC broth) ที่มีหลอดดักแก๊สบ่มที่อุณหภูมิ 44.5 °C (Feng et al., 2002)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ผลการทดลอง ความแปรปรวนโดย ANOVA และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS

ผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้สมุนไพรไทยทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ใบหม่อน ข่า และกระชาย เพื่อรักษาคุณภาพ และความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ ตลอดจนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง ค่าความเหนียว ค่าความยืดหยุ่น และค่าความเปราะ) ผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษานาน 6 วัน พบว่าการเติมสมุนไพร ใบหม่อน ข่า และกระชาย มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลให้แต่ละช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 0 2 4 และ 6 วัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยที่เนื้อสัมผัสค่าความแข็ง (Hardness) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทุกสูตรการผลิตมีความแข็งแรงอยู่ในช่วง 8 - 10 g แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น พบว่าการเติมใบหม่อน (สูตร 3) ค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น ในวันที่ 6 มีค่าความแข็ง 13.00±1.73 g ในขณะที่สูตรควบคุม (สูตร 1) เติมกระเทียม (สูตร 2) และเติมกระชาย (สูตร 5) ค่าความแข็งเนื้อสัมผัสในวันที่ 4 มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน 9.67±1.53 9.00±2.00 และ 9.67±0.58 g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติมใบหม่อน (สูตร 3) ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูปดปรุงรส มีความแน่นและแข็งแรงขึ้น ในขณะที่สูตรควบคุม หรือที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) สูตรที่เติมกระเทียม (สูตร 2) และกระชาย (สูตร 5) มีการเปลี่ยนแปลงของความแข็งและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

ความเหนียวติดมือ (Adhesiveness) เป็นหนึ่งในคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสที่สำคัญที่บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์เหมาะสมช่วยให้สามารถปั้นหรือขึ้นรูปเป็นก้อนได้ง่าย ไม่แตกหรือหลุดร่วงระหว่างการจัดการ พบว่าสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) และเติมข่า (สูตร 4) มีค่าดังกล่าวสูงที่สุด 0.23±0.06 และ 0.22±0.03 mJ ในขณะที่การเติมกระชาย (สูตร 5)

มีค่าความเหนียวต่ำที่สุด คือ 0.11 ± 0.01 mJ อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน พบว่าทุกสูตรการผลิตที่มีการเติมกระเทียม (สูตร 2) เติมใบหม่อน (สูตร 3) เติมข่า (สูตร 4) และเติมกระชาย (สูตร 5) โดยรวมมีค่าความเหนียวอยู่ในช่วง 0.10-0.17 mJ ผลดังกล่าวอาจเนื่องมาจากการที่สมุนไพรมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเนื้อเยื่อของโปรตีนได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์

ค่าความยืดหยุ่น (Stringiness) ของเนื้อสัมผัส พบว่ามีแนวโน้มค่อนข้างแปรปรวนตลอดอายุการเก็บรักษานาน 6 วัน ในทุกสูตรการผลิต อย่างไรก็ตามสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) มีค่าดังกล่าวสูงที่สุดเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน คือ 4.88 ± 0.77 mm รองลงมาคือ สูตรการผลิตที่มีการเติมกระเทียม (สูตร 2) คือ 2.46 ± 0.79 mm เมื่อพิจารณาสมุนไพรที่นำมาทดสอบเพื่อต้องการแทนที่การใช้กระเทียม พบว่าสูตรที่เติมกระชาย (สูตร 5) มีค่าความยืดหยุ่น 1.76 ± 0.26 mm เมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน ซึ่งสูงกว่าสูตรที่เติมใบหม่อน (สูตร 3) และข่า (สูตร 4) ที่มีค่าต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่ากระชายอาจมีศักยภาพในการคงคุณลักษณะด้านความยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าสมุนไพรชนิดอื่นที่ใช้ในการศึกษา ทั้งนี้คุณสมบัติดังกล่าวมีความสำคัญต่อการยืดเนื้อและความรู้สึกขณะเคี้ยวของผู้บริโภค

สำหรับค่าความเปราะหรือแตกง่ายของเนื้อสัมผัส (Fracturability) พบว่าสูตรที่เติมกระชาย (สูตร 5) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากวันที่ 0 เท่ากับ 5.33 ± 0.58 g จนถึงวันที่ 6 เท่ากับ 4.67 ± 0.58 g ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสที่เติมใบหม่อน (สูตร 3) และเติมข่า (สูตร 4) มีค่าดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน คือ 6.00 ± 1.73 และ 6.00 ± 0.00 g แสดงให้เห็นว่าสมุนไพรไทยทั้ง 3 ชนิดมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสอย่างชัดเจน โดยการเติมใบหม่อน (สูตร 2) ช่วยเพิ่มความแข็ง การเติมกระชาย (สูตร 5) ช่วยคงความยืดหยุ่น และการเติมข่า (สูตร 4) เพิ่มความเหนียวติดมือของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง ค่าความเหนียว ค่าความยืดหยุ่น และค่าความเปราะ) ผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษานาน 6 วัน

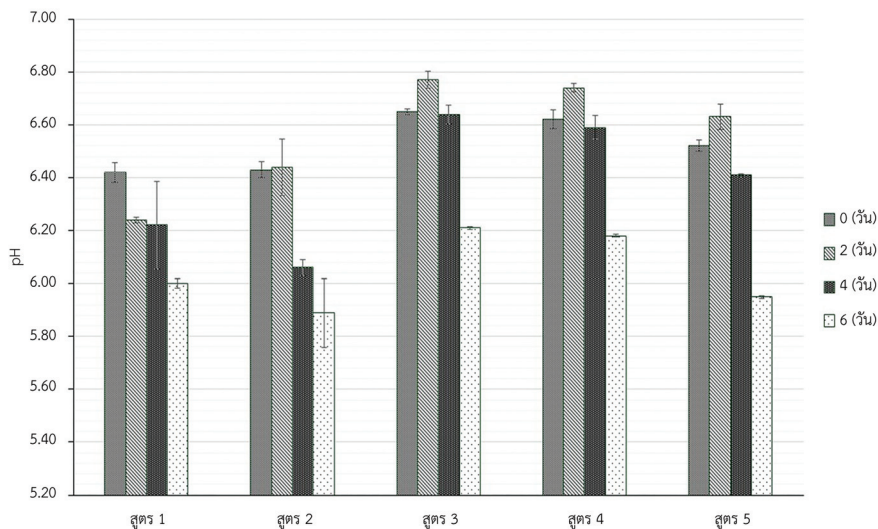
ระยะเก็บรักษา (วัน)	ผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ค่าความแข็ง (Hardness; g)					
0	9.83 ± 0.76^{Aab}	8.00 ± 1.00^{Bb}	9.67 ± 0.58^{Bab}	10.00 ± 1.73^{Aa}	10.00 ± 0.00^{ABa}
2	10.00 ± 2.00^{Aa}	9.55 ± 0.51^{ABa}	9.00 ± 0.00^{Ba}	8.67 ± 0.58^{Aa}	10.00 ± 0.00^{ABa}
4	10.00 ± 0.00^{Ab}	11.00 ± 1.00^{Aab}	12.74 ± 0.23^{Aa}	11.67 ± 1.53^{Aab}	11.00 ± 1.00^{Aab}
6	9.67 ± 1.53^{Ab}	9.00 ± 2.00^{ABb}	13.00 ± 1.73^{Aa}	11.33 ± 2.08^{Aab}	9.67 ± 0.58^{Bb}
ค่าความเหนียว (Adhesiveness; mJ)					
0	0.23 ± 0.06^{Aa}	0.14 ± 0.06^{Aab}	0.19 ± 0.08^{Aab}	0.22 ± 0.03^{Aa}	0.11 ± 0.01^{Bb}
2	0.13 ± 0.06^{Ab}	0.11 ± 0.03^{Ab}	0.10 ± 0.00^{Bb}	0.11 ± 0.01^{Bb}	0.17 ± 0.04^{Aa}
4	0.13 ± 0.06^{Ab}	0.09 ± 0.02^{Ab}	0.20 ± 0.01^{Aa}	0.10 ± 0.01^{Bb}	0.11 ± 0.03^{Bb}
6	0.22 ± 0.02^{Aa}	0.17 ± 0.06^{Ab}	0.11 ± 0.01^{Bc}	0.11 ± 0.01^{Bc}	0.10 ± 0.00^{Bc}
ค่าความยืดหยุ่น (Stringiness; mm)					
0	1.85 ± 0.50^{Bab}	2.35 ± 0.54^{Ba}	1.77 ± 0.21^{Aab}	1.31 ± 0.27^{Abc}	1.06 ± 0.10^{Cc}
2	2.37 ± 0.99^{Bc}	3.47 ± 0.21^{Ab}	1.45 ± 0.37^{Ac}	1.78 ± 0.25^{Ac}	1.26 ± 0.00^{Aa}
4	1.29 ± 0.33^{Ba}	1.72 ± 0.24^{Ba}	1.65 ± 0.32^{Aa}	1.33 ± 0.33^{Aa}	1.62 ± 0.31^{Ba}
6	4.88 ± 0.77^{Aa}	2.46 ± 0.79^{Bb}	1.38 ± 0.45^{Ab}	1.43 ± 0.30^{Ab}	1.76 ± 0.26^{Bb}

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง ค่าความเหนียว ค่าความยืดหยุ่น และค่าความเปราะ) ผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษานาน 6 วัน (ต่อ)

ระยะเก็บรักษา (วัน)	ผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ค่าความเปราะ (Fracturability; g)					
0	5.33±0.58 ^{Aa}	4.33±1.15 ^{Ba}	4.00±1.00 ^{Aa}	5.33±0.58 ^{Aa}	5.33±0.58 ^{ABa}
2	5.30±0.44 ^{Ab}	4.67±0.58 ^{ABc}	4.00±0.00 ^{Ad}	4.00±0.00 ^{Bd}	6.00±0.00 ^{Aa}
4	5.30±0.61 ^{Aa}	6.00±0.00 ^{Aa}	5.91±0.21 ^{Aa}	5.69±0.71 ^{Aa}	6.00±1.00 ^{Aa}
6	5.00±1.73 ^{Aa}	5.00±1.00 ^{ABa}	6.00±1.73 ^{Aa}	6.00±0.00 ^{Aa}	4.67±0.58 ^{Ba}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±) จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($P<0.05$)
ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($P<0.05$)
สูตร 1 คือ สูตรควบคุม (Negative Control) ไม่มีการเติมสมุนไพร
สูตร 2 คือ ที่มีส่วนผสมของกระเทียม (3.65% w/w) ที่มีจำหน่ายแล้วในเชิงพาณิชย์
สูตร 3 คือ ที่มีการเติมใบหม่อนเพิ่ม (3.65% w/w)
สูตร 4 คือ ที่มีการเติมข่าเพิ่ม (3.65% w/w)
สูตร 5 คือ ที่มีการเติมกระชายเพิ่ม (3.65% w/w)

ผลของสมุนไพรต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Value) ในผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร ซึ่งค่า pH เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส โดยมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และการคงตัวของเนื้อสัมผัส จากรูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH Value) ของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสในระหว่างการเก็บรักษานาน 6 วัน พบว่าทั้ง 5 สูตรที่ทำการผลิตเมื่อทำการเก็บรักษานาน 6 วัน ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกสูตร โดยที่การเติมกระเทียม (สูตร 2) ค่า pH ลดลงจาก 6.43 เหลือ 5.89 ณ วันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น สำหรับสูตรที่มีการประยุกต์ใช้สมุนไพรไทยอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากกระเทียม ได้แก่ สูตรที่มีการเติมใบหม่อน (สูตร 3) เติมข่า (สูตร 4) และเติมกระชาย (สูตร 5) พบว่าค่า pH ลดลงในอัตราที่ช้ากว่าสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) และเติมกระเทียม (สูตร 2) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการเก็บรักษานาน 6 วัน การเติมกระชาย (สูตร 5) แม้จะมีแนวโน้มค่า pH ลดลงใกล้เคียงกับการเติมกระเทียม (สูตร 2) แต่อย่างไรก็ตามค่า pH ในวันที่ 6 ที่ตรวจพบ คือ 5.95 ซึ่งสูงกว่า ดังนั้น การเติมสมุนไพร เช่น กระชาย ข่า และใบหม่อน นอกจากจะมีศักยภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่า pH แล้วยังอาจช่วยลดความเป็นกรดในอัตราที่ช้ากว่ากระเทียม



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Value) ของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสในระหว่างการเก็บรักษานาน 6 วัน

แสดงข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จากการทดลอง 3 ซ้ำ โดยที่สูตร 1 คือ สูตรควบคุม (Negative Control) ไม่มีการเติมสมุนไพร สูตร 2 คือ ที่มีส่วนผสมของกระเทียม (3.65% w/w) ที่มีจำหน่ายแล้วในเชิงพาณิชย์ สูตร 3 คือ ที่มีการเติมใบหม่อนเพิ่ม (3.65% w/w) สูตร 4 คือ ที่มีการเติมข่าเพิ่ม (3.65% w/w) และสูตร 5 คือ ที่มีการเติมกระชายเพิ่ม (3.65% w/w)

การเปลี่ยนแปลงด้านค่าสี ซึ่งเป็นดัชนีคุณภาพที่สะท้อนถึงลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดี ดังตารางที่ 3 โดยพิจารณา ค่าสีในระบบ CIE Lab ได้แก่ ค่า L^* (ความสว่าง) a^* (เฉดสีแดง-เขียว) และ b^* (เฉดสีเหลือง-น้ำเงิน) พบว่าทุกสูตร การผลิตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งในแต่ละสูตรทั้ง 5 สูตร และระหว่างระยะเวลา เก็บรักษา (0 2 4 และ 6 วัน) ค่า L^* หรือ ความสว่างพบว่าการเติมกระชาย (สูตร 5) มีค่า L^* สูงสุดในทุกช่วงเวลา ที่ทำการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 0 ($L^* 65.96$) ไปจนถึงวันที่ 6 ($L^* 74.50$) แสดงถึงความสว่างของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่คงที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ขณะที่การเติมใบหม่อน (สูตร 3) แม้จะมีค่า L^* เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 อย่างชัดเจน ($L^* 74.20$) แต่กลับลดลงในวันที่ 4 ($L^* 66.65$) และเมื่อทำการเก็บรักษานานจนถึงวันที่ 6 พบว่าลักษณะปรากฏเกิดการเสื่อมเสียอย่างสังเกตเห็นได้จึงไม่สามารถตรวจติดตามได้ (NE; Not Examine) เช่นเดียวกับการเติมข่า (สูตร 4) ในขณะที่สูตรควบคุม หรือสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) และสูตรกระเทียม (สูตร 2) พบว่ามีค่า L^* ในระดับปานกลางและไม่แสดงแนวโน้ม การเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และเมื่อเก็บรักษานานถึง 6 วัน เกิดการเสื่อมเสียอย่างสังเกตเห็นได้จึงไม่สามารถตรวจติดตามได้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ซึ่งแสดงถึงเฉดสีแดง ที่ยังคงคุณภาพความสดนั้น พบว่าการเติมกระชาย (สูตร 5) มีค่าคงที่และสูงกว่าสูตรอื่น กล่าวคือในวันที่ 0 มีค่าสูงสุด ($a^* 19.86$) และค่าที่แสดงถึงเฉดสีแดงนี้ไม่ลดลง แต่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในการเก็บรักษานาน 6 วัน ($a^* 25.69$) ขณะที่เติมข่า (สูตร 4) พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเริ่มจากในวันที่ 0 มีค่าแสดงถึงเฉดสีแดง ($a^* 17.42$) และค่านี้ไม่ลดลงแต่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในการเก็บรักษานาน 4 วัน ($a^* 24.06$) ในทางตรงกันข้ามสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) และสูตรกระเทียม (สูตร 2) มีแนวโน้มของ ค่า a^* ซึ่งแสดงถึงเฉดสีแดง ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองนี้สะท้อนให้เห็นถึง ประสิทธิภาพของการเติมกระชาย (สูตร 5) ที่สามารถรักษาการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์ไว้ได้โดยที่ยังคง เฉดสีแดงไว้ได้ในผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ

ในส่วนของค่า b^* ซึ่งแสดงถึงเฉดสีเหลือง พบว่าทั้งสูตร 5 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะการเติมกระชาย (สูตร 5) วันที่ 0 มีค่า $b^* 9.43$ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 13.61 ในวันที่ 6 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรอื่น ($P < 0.05$) ในขณะที่สูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) สูตรกระเทียม (สูตร 2) สูตรเติมใบหม่อน (สูตร 3) และสูตร ที่เติมข่า (สูตร 4) เกิดการเสื่อมเสียอย่างสังเกตเห็นได้จึงไม่สามารถตรวจติดตามได้ในวันที่ 6 ของการติดตามอายุการเก็บรักษา

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าสีในระบบ L^* a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงสุญญากาศเป็นเวลา 6 วัน

ค่าสี	ผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส					
	จำนวนวัน	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
L^*	0	61.16 ^{Bb}	62.29 ^{Ba}	59.48 ^{Ba}	61.99 ^{ABb}	65.96 ^{Ab}
	2	64.67 ^{Ba}	63.21 ^{Ba}	74.20 ^{Aa}	66.51 ^{Bb}	71.71 ^{Aab}
	4	64.32 ^{Ba}	64.11 ^{Ba}	66.65 ^{Ba}	78.24 ^{Aa}	74.10 ^{Aa}
	6	NE	NE	NE	NE	74.50 ^{Aa}
a^*	0	18.02 ^{ABa}	16.24 ^{Ba}	12.34 ^{Ca}	17.42 ^{ABb}	19.86 ^{Aa}
	2	15.63 ^{Cb}	17.73 ^{BCa}	12.90 ^{Ca}	23.63 ^{Ab}	22.19 ^{ABa}
	4	15.26 ^{Ba}	15.47 ^{Ba}	11.32 ^{Ca}	24.06 ^{Aa}	22.25 ^{Aa}
	6	NE	NE	NE	NE	25.69 ^{Aa}
b^*	0	8.36 ^{Ba}	11.25 ^{Aa}	6.82 ^{Ba}	8.97 ^{Bb}	9.43 ^{Aa}
	2	5.26 ^{Db}	8.35 ^{Ca}	9.70 ^{Ca}	11.90 ^{Bab}	26.32 ^{Aa}
	4	6.29 ^{Bb}	6.20 ^{Ba}	7.78 ^{ABa}	12.67 ^{ABb}	10.76 ^{ABa}
	6	NE	NE	NE	NE	13.61 ^{Aa}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ
 ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($P < 0.05$)
 ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($P < 0.05$)
 สูตร 1 คือ สูตรควบคุม (Negative Control) ไม่มีการเติมสมุนไพร
 สูตร 2 คือ ที่มีส่วนผสมของกระเทียม (3.65% w/w) ที่มีจำหน่ายแล้วในเชิงพาณิชย์
 สูตร 3 คือ ที่มีการเติมใบหอมเพิ่ม (3.65% w/w)
 สูตร 4 คือ ที่มีการเติมข่าเพิ่ม (3.65% w/w)
 สูตร 5 คือ ที่มีการเติมกระชายเพิ่ม (3.65% w/w)
 NE หมายถึง Not Examined เนื่องจากลักษณะปรากฏเกิดการเสื่อมเสีย

การประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสทั้ง 5 สูตร ดังตารางที่ 4 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด โดยเฉพาะในสูตรควบคุม หรือสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) และสูตรที่เติมกระเทียม (สูตร 2) ซึ่งมีแบคทีเรียทั้งหมด (Total Bacteria Count) ที่เพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วตั้งแต่วันที่ 2 และสูงเกิน $7 \log \text{CFU/g}$ ที่เก็บรักษานาน 4 วัน และมีแนวโน้มเจริญเพิ่มขึ้นเกินกว่าขอบเขตการนับได้ (TNTC) ภายในวันที่ 6 ซึ่งจำนวนที่ตรวจพบมีปริมาณสูงเกินขอบเขตการนับได้ ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ตัวอย่างมีการปนเปื้อนสูงกว่าความสามารถในการนับด้วยวิธี Spread Plate อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ยืนยันว่าจำนวนแบคทีเรียมีค่าสูงกว่าขีดจำกัดความปลอดภัยที่กำหนดไว้ หรือสูงเกินเกณฑ์ตั้งแต่ช่วงต้นของการเก็บรักษา ในขณะที่สูตรที่เติมสมุนไพรโดยเฉพาะการเติมกระชาย (สูตร 5) สามารถควบคุมการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทั้งหมดได้ดีกว่าทุกสูตร โดยมีค่าการปนเปื้อนของแบคทีเรียรวมเพียง $5.23 \log \text{CFU/g}$ ในวันที่ 6

ในกรณีของเชื้อ *E. coli* ที่มีการรายงานผลด้วยวิธี Most Probable Number (MPN) สามารถแปลผลการวิเคราะห์ว่า $< 0.03 \text{ MPN/g}$ หมายถึง ไม่ตรวจพบเนื่องจากต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด และหาก $\geq 0.03 \text{ MPN/g}$ หมายถึงตรวจพบในตัวอย่าง พบว่ามีการปนเปื้อนในสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) ตั้งแต่วันที่ 2 ของการเก็บรักษา และตรวจพบอย่างต่อเนื่องทุกวันจนครบระยะเวลาเก็บรักษา 6 วัน ในขณะที่สูตรที่มีการเติมกระเทียม (สูตร 2) เติมน้ำหอม (สูตร 3) และเติมข่า (สูตร 4) เริ่มตรวจพบในช่วงท้ายของอายุการเก็บหรือพบในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ในขณะที่การเติมกระชาย (สูตร 5) ไม่พบการปนเปื้อนของ *E. coli* ตลอดระยะเวลาการศึกษาอายุการเก็บ

การตรวจนับเชื้อ *S. aureus* เป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของจำนวนเชื้อในทุกสูตรอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านการเก็บรักษาผ่านไป โดยเมื่อทำการรักษานาน 6 วัน พบว่าสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) สูตรกระเทียม (สูตร 2) สูตรเติมใบหม่อน (สูตร 3) และสูตรที่เติมชา (สูตร 4) มีจำนวนเชื้อดังกล่าวสูงจนไม่สามารถ นับได้ที่ระดับความเจือจางต่ำที่สุด (10^{-5}) ที่ทำการวิเคราะห์ ในขณะที่สูตรที่มีการเติมกระชาย (สูตร 5) เมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน ตรวจพบ *S. aureus* 1.89 log CFU/g เท่านั้น

สำหรับเชื้อ *B. cereus* พบว่าสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) และสูตรกระเทียม (สูตร 2) มีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนของเชื้อสูง ไปจนถึงการเก็บรักษานาน 6 วัน จนไม่สามารถนับได้ที่ระดับความเจือจางต่ำสุดที่ทำการวิเคราะห์ ในขณะที่การเติมกระชาย (สูตร 5) ให้ผลในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ตรวจพบการปนเปื้อนเชื้อดังกล่าวต่ำ และอยู่รอดในจำนวนที่น้อยตลอดการเก็บรักษา โดยจำนวนที่ตรวจพบในวันที่ 0 คือ 1.78 log CFU/g และเพิ่มขึ้นเพียง 1.93 log CFU/g ในวันที่ 6

การตรวจสอบการปนเปื้อนและการอยู่รอดของเชื้อ *Salmonella* spp. พบว่าสูตรที่ไม่มีการเติมสมุนไพร (สูตร 1) ตั้งแต่เสร็จสิ้นกระบวนการผลิต ตลอดจนเก็บรักษาได้ 6 วัน ตรวจพบเชื้อดังกล่าว ในขณะที่สูตรกระเทียม (สูตร 2) และการเติมใบหม่อน (สูตร 3) เริ่มตรวจพบภายหลังการเก็บรักษานาน 4 วัน อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมชา (สูตร 4) และกระชาย (สูตร 5) ตรวจไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella* spp. ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรสในระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเก็บรักษา (วัน)	ผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
Total Bacteria Count (log CFU/g)					
0	4.29	3.48	4.13	4.02	3.05
2	5.23	5.23	4.54	4.47	4.22
4	7.11	7.13	7.06	5.79	4.87
6	>5	>5	>5	>5	5.23
<i>E. coli</i> Detected (MPN/g)					
0	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
2	1.2	1.2	1.2	1.2	<0.03
4	4.6	2.4	2.4	2.4	<0.03
6	4.6	4.6	4.6	4.6	<0.03
<i>S. aureus</i> Count (log CFU/g)					
0	4.83	4.63	3.00	3.00	3.39
2	5.08	4.89	4.31	4.19	1.64
4	5.09	4.95	4.64	4.40	1.82
6	>5	>5	>5	>5	1.89
<i>B. cereus</i> Count (log CFU/g)					
0	2.00	2.05	2.1	2.00	1.78
2	2.60	2.41	3.05	2.20	1.89
4	5.46	5.11	4.61	2.29	1.90
6	>5	>5	5.82	3.34	1.93

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์หมูปปรุงรสในระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ระยะเก็บรักษา (วัน)	ผลิตภัณฑ์หมูปปรุงรส				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
<i>Salmonella</i> spp. (Detected/ Not Detected)					
0	Detected	ND	ND	ND	ND
2	Detected	ND	ND	ND	ND
4	Detected	Detected	Detected	ND	ND
6	Detected	Detected	Detected	ND	ND

หมายเหตุ: ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ND (Not Detected) หมายถึง ไม่พบ หรือ ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ในปริมาณที่วัดได้

สูตร 1 คือ สูตรควบคุม (Negative Control) ไม่มีการเติมสมุนไพร

สูตร 2 คือ ที่มีส่วนผสมของกระเทียม (3.65% w/w) ที่มีจำหน่ายแล้วในเชิงพาณิชย์

สูตร 3 คือ ที่มีการเติมใบหม่อนเพิ่ม (3.65% w/w)

สูตร 4 คือ ที่มีการเติมข่าเพิ่ม (3.65% w/w)

สูตร 5 คือ ที่มีการเติมกระชายเพิ่ม (3.65% w/w)

สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของการเติมสมุนไพรไทย ได้แก่ ใบหม่อน ข่า และกระชาย เพื่อปรับปรุงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูปปรุงรส เปรียบเทียบกับสูตรการผลิตที่ไม่มีการเติมสมุนไพร หรือสูตรควบคุม (สูตร 1) และสูตรการผลิตที่มีการเติมกระเทียม (สูตร 2) ซึ่งเป็นหนึ่งในวัตถุดิบที่มีใช้อย่างกว้างขวางในกลุ่มผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป และในเชิงพาณิชย์ (Kovarović et al., 2019) ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปพร้อมปรุง (Ready to Cook) ภายใต้การเก็บรักษาแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 °C ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าสมุนไพรแต่ละชนิดมีผลเฉพาะต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในสมุนไพร เช่น ฟลาโวนอยด์ แทนนิน หรือกลุ่มน้ำมันหอมระเหย ที่ส่งผลโดยเฉพาะต่อคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน กล่าวคือการเติมใบหม่อน (สูตร 3) ปริมาณ 3.65 % (w/w) หรือคิดเป็น 25 กรัม ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูปปรุงรส มีความแน่นและแข็งแรงขึ้น และดีกว่าการเติมสมุนไพรชนิดอื่น อาจเนื่องมาจากโปรตีนและเส้นใยในใบหม่อนมีบทบาทในการเสริมความหนาแน่นของโครงสร้างเนื้อและ การยึดเกาะระหว่างโมเลกุลโปรตีน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่น แข็งแรง และคงรูปได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับ Zhang et al. (2024) ได้ชี้ให้เห็นว่าการเติมผงใบหม่อนในสูตรผลิตภัณฑ์เนื้อทางเลือกจากพืช ส่งผลต่อสมบัติเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะความแข็ง และความเหนียวติดมือ โดยจะไปปรับปรุงคุณสมบัติเหล่านี้สูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากโครงสร้างเนื้อที่มีความหนาแน่นและการเชื่อมประสานกันที่ดีขึ้นของเมทริกซ์โปรตีนและเส้นใยในผลิตภัณฑ์ ช่วยให้จับน้ำและเสริมแรงยึดเกาะของอนุภาคได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างแข็งแรงและเหนียวมากขึ้น ในกรณีของความยืดหยุ่น ในขณะที่การเติมกระชาย (สูตร 5) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่น (Stringiness) สูงขึ้น อาจมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของสารพฤกษเคมี โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกกับโปรตีนในเนื้อหมู ทำให้เกิดโครงสร้างเนื้อที่แข็งแรงขึ้นผ่านกลไกการเกิดพันธะระหว่างโปรตีนและฟีนอลิก (Protein-Polyphenol Interaction) ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยในการเกิดเจล หรือเสริมโครงสร้างเนื้อสัตว์ให้มีความยืดหยุ่น (Shahidi and Dissanayaka, 2023) รวมถึงความสัมพันธ์ทางอ้อม กล่าวคือ กระชายมีสารฟีนอลิกและน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ช่วยยับยั้งหรือควบคุมการเจริญของแบคทีเรียปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้การเสื่อมสภาพของโปรตีนและไขมันช้าลง โครงสร้างโปรตีนและความชุ่มชื้นคงอยู่ได้นาน จึงสามารถคงความแน่น (Hardness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ของผลิตภัณฑ์

ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา (Soikam et al., 2024) แสดงให้เห็นว่ากระชายอาจมีศักยภาพในการคงคุณลักษณะด้านความยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสได้ดี ทั้งนี้คุณสมบัติดังกล่าวมีความสำคัญต่อการยืดเนื้อและความรู้สึกขณะเคี้ยวของผู้บริโภค นอกจากคุณภาพทางด้านกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการประยุกต์ใช้สมุนไพรทั้ง 3 ชนิดแล้ว ยังได้ข้อสรุปที่แสดงให้เห็นว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งค่าความสว่าง (L^*) เฉดสีแดง (a^*) และเฉดสีเหลือง (b^*) แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การเติมกระชาย (สูตร 5) สามารถรักษาค่าความสว่างได้ดีที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 วัน อีกทั้งผลิตภัณฑ์ยังคงมีค่าที่เฉดสีแดง (a^*) คงไว้ได้ตลอดการเก็บรักษา ผลเหล่านี้สอดคล้องกับการทดสอบเติมกระชายในผลิตภัณฑ์ Pork Tteokgalbi พบว่าจะไปช่วยเสริมให้มีคาร์โบไฮเดรต มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์สูงขึ้น เหล่านี้จะไปมีผลต่อการปรับค่าความสว่าง (L^*) ให้ลดลง พร้อมเพิ่มค่า b^* (เฉดเหลือง) ของสีเนื้อ รวมถึงสารเหล่านี้มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน จะไปช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในเนื้อ (Lee et al., 2022) นอกจากนี้ (Soikam et al., 2024) ชี้ให้เห็นว่าในผลิตภัณฑ์มีตบอที่เติมน้ำมันหอมระเหย จากกระชายจะช่วยคงค่าความสว่าง (L^*) และค่าเฉดสีแดง (a^*) สูงขึ้นตามระดับการเติม นอกจากนี้การเติมสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ยังส่งต่อศักยภาพในการช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาให้เป็นไปตามมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสุกรสด แช่เย็นและเยือกแข็ง (มอก.1197-2536) และเนื้อสุกร มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 6000-2547) (Thai Industrial Standards Institute, 1993; National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2004) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเติมใบหม่อน ข่า และกระชายมีผลต่อการลดลงของค่า pH อย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บรักษา 6 วัน อันเป็นผลจากการเจริญของจุลินทรีย์และกระบวนการเมตาบอลิซึมที่สร้างกรดอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ (Dave and Ghaly, 2011) โดยเฉพาะสูตรที่เติมกระชาย (สูตร 5) ที่มีความสามารถในการชะลอการลดลงของ pH สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จุลินทรีย์ ที่พบว่าควบคุมจำนวน Total Bacteria ให้อยู่ต่ำกว่า $6 \log \text{CFU/g}$ และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *S. aureus* และ *B. cereus* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะเดียวกันยังไม่พบการปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. ตลอดการเก็บรักษา ซึ่งต่างจากสูตรที่ไม่มีสมุนไพรหรือเติมกระเทียมที่มีการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว และตรวจพบเชื้อก่อโรครภายใน 4 วัน ซึ่งสามารถอธิบายกลไกความสัมพันธ์ที่อาจเกี่ยวข้องกับสารออกฤทธิ์ในสมุนไพรกระชาย มีสารโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และน้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อที่ทำให้เสื่อมเสียและเชื้อก่อโรค เช่น *E. coli* *S. aureus* และ *B. cereus* (Phanthong et al., 2013; Zainin et al., 2013; Teethaisong et al., 2018) จึงไปมีผลต่อการลดการสร้างกรดอินทรีย์จากการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย ส่งผลให้ค่า pH ลดลงช้ากว่ากลุ่มควบคุมและช่วยรักษาโครงสร้างโปรตีนและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นการเติมกระชายในการลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคจากแบคทีเรียก่อโรคในอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.1197-2536 และตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์เรื่องเกณฑ์คุณภาพ ทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (Thai Industrial Standards Institute, 1993; Department of Medical Sciences, 2017) กล่าวคือ ตรวจไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. และ *E. coli* (น้อยกว่า 100 MPN/g) และสามารถยับยั้งควบคุมการเจริญ และ/หรืออยู่รอดของ *S. aureus* และ *B. cereus* ไม่เกิน $2.00 \log \text{CFU/g}$ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 วัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่พบว่าสารประกอบฟีนอลิกและน้ำมัน หอมระเหยในกระชายมีฤทธิ์ต้านจุลชีพ (Soikam et al., 2024) โดยเฉพาะกับแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ จึงเหมาะสมที่จะนำกระชายไปใช้เป็นส่วนผสมทางเลือกในการเพิ่มความปลอดภัยและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หมูปดปรุงรส รวมถึงการนำไปพัฒนาใช้ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ตลอดจนการต่อยอดทดสอบการยอมรับในกลุ่มผู้บริโภคในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณคณะนวัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านความรู้และด้านเครื่องมืออุปกรณ์ในการปฏิบัติการวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวปณิพร ทองครบุรี ที่ช่วยสนับสนุนแนะนำวิธีการพื้นฐานในการเตรียมผลิตภัณฑ์หมูปด

References

- Aziz, I.M., Alfuraydi, A.A., Almarfadi, O.M., Aboul-Soud, M.A., Alshememry, A.K., Alsaleh, A.N. and Almajhdi, F.N. (2024). Phytochemical Analysis, Antioxidant, Anticancer, and Antibacterial Potential of *Alpinia galanga* (L.) Rhizome. *Heliyon*, 10(17), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37196>
- Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001). *U.S. Food and Drug Administration* (8th ed). Center for Food Safety and Applied Nutrition, U.S. FDA. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>
- Brewer, M.S. (2011). Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(4), 221-247. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>
- Chanthabal, A. and Mahidsanan, T. (2023). Response Surface Methodology for Evaluation of Blanching Effects on Antioxidant Capacity and Physical Quality of Ground Pork Product Treated with Mulberry Leaves. *Asian Health, Science and Technology Reports*, 31(1), 74-81. <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/ahstr/article/view/1303/912>
- Cui, H., Lu, T., Wang, M., Zou, X., Zhang, Y., Yang, X., Dong, Y. and Zhou, H. (2019). Flavonoids from *Morus alba* L. Leaves: Optimization of Extraction by Response Surface Methodology and Comprehensive Evaluation of Their Antioxidant, Antimicrobial, and Inhibition of α -Amylase Activities through Analytical Hierarchy Process. *Molecules*, 24(13), 2398. <https://doi.org/10.3390/molecules24132398>
- Dave, D. and Ghaly, A.E. (2011). Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 486-510. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.486.510>
- Department of Medical Sciences. (2017). *Microbiological Quality Standards for Foods and Food-Contact Utensils* (3rd ed). Bangkok: Ministry of Public Health. (in Thai)
- Djordjević, J.A.S.N.A., Bošković, M., Lazić, I.B., Djordjević, V.E.S.N.A., Baltić, T., Laudanović, M. and Baltić, M.Ž. (2019). Spoilage-Related Bacteria of Pork and Beef Minced Meat under Vacuum and Modified Atmosphere. *Romanian Biotechnological Letters*, 24(4), 658-668. <http://doi.org/10.25083/rbl/24.4/658.668>
- Falowo, A.B., Fayemi, P.O. and Muchenje, V. (2014). Natural Antioxidants Against Lipid-Protein Oxidative Deterioration in Meat and Meat Products: A Review. *Food Research International*, 64, 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>
- Feng, P., Weagant, S.D., Grant, M.A., Burkhardt, W., Shellfish, M. and Water, B. (2002). BAM: Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. In: *Bacteriological Analytical Manual*, US Food and Drug Administration, Washington DC.
- Gunasena, D.K., Jayashantha, E. and Senevirathne, N. (2021). Chitosan Improves the Shelf Life of Domestic Chicken (*Gallus gallus*) Eggs Against *Staphylococcus aureus* Contaminations. *European Journal of Biology and Biotechnology*, 2(1), 1-9. <https://doi.org/10.24018/ejbio.2021.2.1.139>
- Harper, N.M., Getty, K.J.K, Schmidt, K.A., Nutsch, A.L. and Linton, R.H. (2011). Comparing the Mannitol-Egg Yolk-Polymyxin Agar Plating Method with the Three-Tube Most-Probable-Number Method for Enumeration of *Bacillus Cereus* Spores in Raw and High-Temperature, Short-Time Pasteurized Milk. *Journal of Food Protection*, 74(3), 461-464. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-340>

- Kernberger-Fischer, I., Kehrenberg, C., Klein, G., Schaudien, D. and Krischek, C. (2017). Influence of Modified Atmosphere and Vacuum Packaging with and Without Nanosilver-Coated Films on Different Quality Parameters of Pork. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 3251-3259. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2768-4>
- Kovarovič, J., Bystricka, J., Vollmannova, A., Toth, T. and Brindza, J. (2019). Biologically Valuable Substances in Garlic (*Allium sativum* L.) -A Review. *Journal of Central European Agriculture*, 20(1), 292-304. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.1.2304>
- Lanzotti, V. (2006). The Analysis of Onion and Garlic. *Journal of Chromatography A*, 1112(1-2), 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.12.016>
- Lee, J.J., Choi, J. and Ha, J.H. (2022). Physicochemical and Storage Characteristics of Pork Tteokgalbi Treated with *Boesenbergia pandurata* (Roxb.) Powder. *Applied Sciences*, 12(5), <https://doi.org/10.3390/app12052425>
- Mansur, A.R., Park, J.H. and Oh, D.H. (2016). Predictive Model for Growth of *Staphylococcus aureus* on Raw Pork, Ham, and Sausage. *Journal of Food Protection*, 79(1), 132-137. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-227>
- Migdał, W., Różycki, M., Mucha, A., Tyra, M., Natonek-Wisniewska, M., Walczycka, M., Kulawik, P., Węsierska, E., Zając, M., Tkaczewska, J., Migdał, Ł. and Krępa-Stefanik, K. (2020). Meat Texture Profile and Cutting Strength Analyses of Pork Depending on Breed and Age. *Annals of Animal Science*, 20(2), 677-692. <http://doi.org/10.2478/aoas-2019-0085>
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2004). *Pork*. Thai Agricultural Commodity and Food Standard TACFS 6000-2004. <https://certify2.dld.go.th/wp-content/uploads/2025/06/01-aw-law.pdf> (in Thai)
- Pal, A. and Marshall, D.L. (2009). Comparison of Culture Media for Enrichment and Isolation of *Salmonella* Spp. from Frozen Channel Catfish and Vietnamese Basa Fillets. *Food Microbiology*, 26(3), 317-319. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.12.003>
- Papuc, C., Predescu, C.N., Tudoreanu, L., Nicorescu, V. and Gâjailă, I. (2018). Comparative Study of the Influence of Hawthorn (*Crataegus monogyna*) Berry Ethanolic Extract and Butylated Hydroxyanisole (BHA) on Lipid Peroxidation, Myoglobin Oxidation, Consistency and Firmness of Minced Pork During Refrigeration. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1346-1361. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8599>
- Phanthong, P., Lomarat, P., Chomnawang, M.T. and Bunyapraphatsara, N. (2013). Antibacterial Activity of Essential Oils and Their Active Components from Thai Spices Against Foodborne Pathogens. *ScienceAsia*, 39, 472-476. <http://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2013.39.472>
- Rattanahemboot, W., Tubglang, R., Charoensuk, K. and Nonmuang, W. (2022). Effect of Herbal Species on Antioxidant Activities and Sensory Quality of Cardamom (*Amomum krervanh* Pierre) Mixed Herbs Tea. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, 15(3), 96-106. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rmutijo/article/view/248886/170149>
- Scott, M.E., Mbandi, E., Buchanan, S., Abdelmajid, N., Gonzalez-Rivera, C., Hale, K.R., Jacobsen, L., Webb, J., Green, J. and Dolan, P. (2020). *Salmonella* and Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* in Products Sampled in the Food Safety and Inspection Service Raw Pork Baseline Study. *Journal of Food Protection*, 83(3), 552-559. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-360>

- Shahidi, F. and Dissanayaka, C.S. (2023). Phenolic-Protein Interactions: Insight from In-Silico Analyses - A Review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5, 1-21. <http://doi.org/10.1186/s43014-022-00121-0>
- Soikam, P., Rachtanapun, C., Suriyarak, S., Weiss, J. and Gibis, M. (2024). Effects of Fingerroot (*Boesenbergia pandurata*) Oil on Microflora as an Antimicrobial Agent and on the Formation of Heterocyclic Amines in Fried Meatballs. *Applied Sciences*, 14, 712. <https://doi.org/10.3390/app14020712>
- Sopitthummakhun, K., Rattanasinganchan, P., Nimmanee, P., Paungmoung, P., Moonthiya, P. and Thitapakorn, V. (2021). Antioxidant Capacity, Antibacterial Activity, and Cell Cytotoxicity in Cholangiocarcinoma (CCA) from *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 26(2), 1-10. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/APST/article/view/235413/167177>
- Thai Industrial Standards Institute. (1993). *Industrial Standard for Fresh, Chilled, and Frozen Pork* (TIS 1197-1993). Bangkok: Ministry of Industry. (in Thai)
- Teethaisong, Y., Pimchan, T., Srisawat, R., Hobbs, G. and Eumkeb, G. (2018). *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. Extract Potentiates the Antibacterial Activity of Some β -Lactams Against β -Lactam-Resistant Staphylococci. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 12, 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2017.10.019>
- Yuwang, T., Intarapichet, K.O., Jantama, K. and Lautenchalager, R. (2019). Effects of Thai Herb Extracts in Combination with High Pressure Treatment on the Microbial and Physicochemical Quality of Fresh Pork. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, 12(3), 13-33. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rmutijo/article/view/193561/144159>
- Zainin, N.S., Lau, K.Y., Zakaria, M., Son, R., Razis, A.A. and Rukayadi, Y. (2013). Antibacterial Activity of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. A. Extract Against *Escherichia coli*. *International Food Research Journal*, 20(6), 3319-3323. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20143047548>
- Zhang, Z.A., Xun, X.M., Herman, R.A., Zhang, Z.P., Yan, C.H., Gong, L.C. and Wang, J. (2024). Mulberry (*Morus alba* L.) Leaf Powder Modified the Processing of Meat Alternatives: Principal Component Analysis from Apparent Properties to Chemical Bonds. *Food Chemistry*, 450, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139318>