

การพัฒนากะปิลดโซเดียมโดยการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ด้วย โพแทสเซียมคลอไรด์สำหรับวิสาหกิจชุมชน ตำบลท่าเคย อำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Development of Reduced-Sodium Shrimp Paste Using NaCl-KCl Substitution for Takaey Community Enterprise in Tha Chang District, Suratthani Province

สุพรรณิการ์ ศรีบัวทอง^{1*} ชลิดา เลื่อมใสสุข² อรุณทัย เจือมนิ¹,
อุราภรณ์ เรืองวัชรินทร์¹ และ พราวตา จันทโร¹
Supannikar Sribuathong^{1*}, Chalida Leumsaisuk²,
Arunothai Juemane¹, Uraporn Reungwatcharin¹
and Prawta Chantaro¹

Received: 19 January 2026

Revised: 5 March 2026

Accepted: 6 March 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตกะปิและกะปิผงลดโซเดียม โดยการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ร่วมกับสารปรับแต่งรส เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนตำบลท่าเคย อำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี กะปิผลิตโดยใช้สัดส่วน NaCl:KCl เท่ากับ 100:0, 75:25, 50:50 และ 0:100 เติมหอรีนร้อยละ 1 และกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.1 และหมักเป็นเวลา 180 วัน ผลการศึกษาพบว่า กะปิมีร้อยละผลผลิตประมาณร้อยละ 50 ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 45–50 ค่า water activity เท่ากับ 0.70–0.80 ค่า L*, a* และ b* มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมัก และ

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี ประเทศไทย 84100

¹ Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Suratthani, Thailand 84100

² คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี ประเทศไทย 84100

² Faculty of Management Science, Suratthani Rajabhat University, Suratthani, Thailand, 84100

* ผู้ติดต่อประสานงาน (Corresponding author) e-mail: supannikar.sri@sru.ac.th

ค่า pH ลดลงเล็กน้อยจาก 8.0 เป็น 7.7 ปริมาณโซเดียมอยู่ในช่วง 730–895 มิลลิกรัม/หน่วยบริโภค (15 กรัม) โดยสูตร NaCl:KCl ระดับ 50:50 ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสและสามารถลดโซเดียมได้ร้อยละ 47 เมื่อเทียบกับกะปิทำเคยอ้างอิง เมื่อนำไปพัฒนาเป็นกะปิผงลดโซเดียมโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่ามีความชื้นร้อยละ 4.70 ค่า water activity เท่ากับ 0.38 และมีปริมาณโซเดียม 530 มิลลิกรัม/หนึ่งหน่วยบริโภค (9 กรัม) หรือลดลงร้อยละ 52 ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้านจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐาน และสามารถกล่าวอ้างเป็นผลิตภัณฑ์ “โซเดียมลดลง” แสดงถึงศักยภาพของการประยุกต์เทคโนโลยีอาหาร เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: กะปิลดโซเดียม โพแทสเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ วิสาหกิจชุมชน

ABSTRACT

This study aimed to develop reduced-sodium shrimp paste and shrimp paste powder by partially substituting sodium chloride (NaCl) with potassium chloride (KCl) combined with flavor modifiers to enhance products from the Takaey community enterprise, Surat Thani Province, Thailand. Shrimp paste was produced using NaCl:KCl ratios of 100:0, 75:25, 50:50, and 0:100, supplemented with 1% taurine and 0.1% ascorbic acid, and fermented for 180 days. The results showed an average yield of approximately 50%, moisture content of 45–50%, water activity of 0.70–0.80, decreasing L*, a*, and b* values, and a slight pH reduction from 8.0 to 7.7 during fermentation. Sodium content ranged from 730 to 895 mg per serving (15 g), depending on salt ratio. The NaCl:KCl 50:50 formulation showed good sensory acceptance and achieved a 47% sodium reduction compared with traditional Takaey shrimp paste. When processed into shrimp paste powder by hot-air drying at 60 °C for 8 h, the product contained 4.70% moisture, water activity of 0.38, and sodium content of 530 mg per serving (9 g), corresponding to a 52% reduction. The developed products met microbiological quality standards and can be claimed as “reduced sodium,” demonstrating the potential of food technology for sustainable community-based product development.

Keywords: Reduced-Sodium Shrimp Paste; Potassium Chloride; Sodium Chloride; Community Enterprise

บทนำ

กะปิทำเคยเป็นผลิตภัณฑ์ประมงพื้นบ้านขึ้นชื่อ และเป็นอาหารอัตลักษณ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นของตำบลท่าเคย อำเภотаฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเฉพาะ “กะปิขี้ดน้ำ” ซึ่งหมักประมาณ 6 เดือน หรือ 180 วัน และขัดด้วยไม้ไผ่และใบตาลจนได้นื้อกะปิสีขาว มีกลิ่นและรสชาติเป็นเอกลักษณ์ ชุมชนได้รวมกลุ่มจัดตั้งเป็นวิสาหกิจชุมชนแปรรูปอาหารตำบลท่าเคยในปี พ.ศ. 2564 มีสมาชิกประมาณ 70 คน ส่วนใหญ่เป็นแม่บ้านและผู้สูงอายุ อย่างไรก็ตามกลุ่มยังเผชิญข้อจำกัดด้านรายได้ การถูกกีดกันการรับซื้อจากพ่อค้าคนกลาง

และข้อจำกัดด้านการขยายตลาด ขณะเดียวกันแม้กลุ่มจะได้รับการสนับสนุนจากภาคีเครือข่ายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อยอด เช่น ซอสกะปิปรุงรสพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งได้รับความนิยมจากผู้บริโภคยุคใหม่ แต่การเพิ่ม “อาหารทางเลือกเชิงสุขภาพ” ยังคงเป็นโจทย์สำคัญในการสร้างความสามารถในการแข่งขันและยกระดับสู่เชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืน

ในมิติด้านสุขภาพ กะปิเป็นเครื่องปรุงที่ใช้เกลือเป็นองค์ประกอบหลัก จัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีโซเดียมสูง ข้อมูลเชิงวิชาการและข้อเสนอแนะจากสภาวิชาชีพ การบริโภคโซเดียมมากเกินไปสัมพันธ์กับความเครียดต่อภาวะความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจและหลอดเลือด โดยองค์การอนามัยโลก [1] แนะนำให้ผู้ใหญ่บริโภคโซเดียมน้อยกว่า 2,000 มิลลิกรัม/วัน หรือเทียบเท่ากับการบริโภคเกลือน้อยกว่า 5 กรัมต่อวัน (ประมาณ 1 ช้อนชา) ประเทศไทยยังมียุทธศาสตร์การลดการบริโภคเกลือและโซเดียม พ.ศ. 2559–2568 ซึ่งมุ่งให้ประชาชนลดการบริโภคเกลือหรือโซเดียมลงร้อยละ 30 เพื่อสนับสนุนการลดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง [2] แนวโน้มดังกล่าวส่งผลให้ผู้บริโภคกลุ่มใส่ใจสุขภาพและกลุ่มเสี่ยง เช่น ผู้ป่วยโรคไต โรคความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ มักหลีกเลี่ยงอาหารที่มีส่วนประกอบของกะปิ ส่งผลให้โอกาสทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมลดลง ดังนั้นการพัฒนากะปิลดโซเดียมที่ยังคงคุณภาพและความปลอดภัย จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มทางเลือกให้ผู้บริโภคสามารถเลือกบริโภคอาหารที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้น

แนวทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารในการลดโซเดียมในเครื่องปรุงรสที่ใช้เกลือ คือการทดแทนโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ด้วยสารทดแทนเกลือ โดยเฉพาะโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ซึ่งให้รสเค็มใกล้เคียงและช่วยลดปริมาณโซเดียมได้ งานวิจัยในผลิตภัณฑ์กะปิและผลิตภัณฑ์หมักจากวัตถุดิบสัตว์น้ำ รายงานว่าการทดแทน NaCl ด้วย KCl บางส่วนในระดับร้อยละ 30–50 สามารถดำเนินการได้ และให้คุณภาพบางด้านใกล้เคียงกับสูตรควบคุม อย่างไรก็ตามคำแนะนำการยอมรับด้านรสชาติอาจลดลงเมื่อมีระดับการทดแทนสูง เนื่องจากเกิดรสขมหรือรสโลหะจาก KCl [3] แนวทางในการลดรสขมของ KCl ในอาหารได้แก่ การใช้สารปรุงแต่งรสที่ทำหน้าที่ช่วยยับยั้งการเกิดรสที่ไม่พึงประสงค์ (enhancer) เช่น การเติมกรดอ่อน ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกและกรดทาร์ทาริก หรือการเติมสารประกอบในกลุ่ม nucleotide monophosphate salt เช่น ทอรีน (taurine) [4] เพื่อเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์ลดโซเดียม นอกจากนี้ยังมีรายงานการพัฒนาสารทดแทนเกลือโดยใช้หลักการลดขนาดอนุภาคของเกลือโซเดียม โดยงานวิจัยสามารถลดขนาดอนุภาคให้อยู่ในช่วง 50–100 ไมโครเมตร (μm) [5] ซึ่งขนาดอนุภาคที่เล็กลงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและทำให้รับรู้รสเค็มได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการกำหนดสัดส่วน NaCl ต่อ KCl ที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักกะปิแบบดั้งเดิมของชุมชนโดยไม่กระทบต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น ค่า water activity (a_w) ค่า pH และสี ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความปลอดภัยและอายุการเก็บรักษา รวมถึงการใช้สารปรุงแต่งรสเพื่อแก้ข้อจำกัดด้านรสชาติของ KCl ในผลิตภัณฑ์กะปิ และการต่อยอดสู่นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ เช่น กะปิผง เพื่อตอบโจทย์ด้านการเก็บรักษา ความสะดวกในการใช้งาน และการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ จึงเป็นประเด็นสำคัญในการประเมินศักยภาพการนำไปใช้จริงเชิงพาณิชย์ในระดับชุมชน ภายใต้กรอบมาตรฐาน และการยกระดับผลิตภัณฑ์เพื่อขยายตลาดต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตกะปิและกะปิผงลดโซเดียมของวิสาหกิจชุมชนแปรรูปอาหารตำบลท่าเคย โดยประยุกต์การทดแทน NaCl ด้วย KCl ร่วมกับการใช้สารปรุงแต่งรส พร้อมทั้งประเมินการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพด้านจุลชีววิทยา การยอมรับทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตจริงในระดับชุมชน และสนับสนุนการยกระดับผลิตภัณฑ์สู่เชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนากระบวนการผลิตกะปิทำเคยลดโซเดียมโดยใช้สารทดแทนเกลือ

ศึกษาคุณลักษณะของกะปิทำเคยที่ผลิตจากกุ้งชนิดต่างๆในโดยกลุ่มวิสาหกิจแปรรูปอาหารตำบลท่าเคย และกะปิทำเคยที่ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ในกระบวนการหมัก โดยใช้กุ้งหัวมัน (Metapenaeus ensis) เป็นวัตถุดิบหลักในการหมักกะปิร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ชนิดผงเพื่อลดขนาดอนุภาค เพิ่มพื้นที่สัมผัส และความสม่ำเสมอระหว่างการหมัก กำหนดอัตราส่วนการทดแทน NaCl ด้วย KCl เท่ากับ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้ปริมาณเกลือรวมร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักกุ้ง เติมน้ำตาลร้อยละ 1 และกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.1 (โดยน้ำหนักต่อกุ้ง) ในรูปผงเพื่อช่วยลดรสขมจากโพแทสเซียมคลอไรด์ นำมาผสมให้เข้ากับเกลือโซเดียมคลอไรด์และโพแทสเซียมคลอไรด์ก่อนคลุกเคล้ากับกุ้ง เพื่อให้สารกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในวัตถุดิบ กระบวนการผลิตตัดแปลงจากวิธีของ ไรจน์สุนทรภักดี และคณะ [6] จากนั้นหมักกุ้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการตากแดดครั้งที่ 1 แล้วนำกุ้งที่ได้มาตากหยาบ (เซหักคอ) หมักต่อ 1 คืน ตากแดดครั้งที่ 2 ก่อนนำมาตำละเอียด (เซเนียน) และหมักต่อในภาชนะปิดสนิทเป็นเวลา 180 วัน สุ่มตัวอย่างกะปิที่ระยะเวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

1.1 ผลของการทดแทน NaCl ด้วย KCl ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกะปิ

โดยตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่า pH (pH meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น FiveEasy™ pH F20 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์, ปริมาณโซเดียมโดยวิธีไตเตรตด้วยสารละลาย AgNO_3 ตามวิธีการของ AOAC [7], ปริมาณความชื้น (%moisture content) ด้วยเครื่อง Moisture Analyzer ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น HX204 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์, ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (water activity; a_w) เครื่องวัด water activity meter ยี่ห้อ AquaLab 4TE Water Activity Meter ประเทศสหรัฐอเมริกา, ค่าสีในระบบ CIE L^* , a^* , b^* ด้วยเครื่อง HunterLab UltraScan PRO Spectrophotometer ประเทศสหรัฐอเมริกา และร้อยละผลผลิต (%Yield)

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, fecal coliform และ *Escherichia coli* ตามวิธีการ U.S. FDA Bacteriological Analytical Manual (BAM). [8]

1.3 การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำกะปิลดโซเดียมทั้ง 5 สูตร เปรียบเทียบกับกะปิทำเคยสูตรดั้งเดิมเป็นตัวอย่างควบคุม ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสทั้งในรูปกะปิและน้ำพริกกะปิซึ่งเป็นตัวแทนผลิตภัณฑ์จากกะปิโดยไม่มีการเสริมฟร้อมกับเครื่องเคียง เพื่อประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์พื้นฐานโดยตรง น้ำพริกกะปิจัดเตรียมตามสูตรมาตรฐาน โดยคำนวณส่วนผสมเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ประกอบด้วย กะปิร้อยละ 27 พริกสตร้อยละ 17 กระเทียมร้อยละ 7 น้ำตาลร้อยละ 15 น้ำมันงาร้อยละ 28 และน้ำต้มสุกร้อยละ 6 ของน้ำหนักรวมทั้งหมด โขลกส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันจนได้เนื้อสัมผัสสม่ำเสมอ โดยทุกสูตรใช้สัดส่วนและกระบวนการเตรียมเดียวกัน แตกต่างกันเฉพาะชนิดของกะปิที่ใช้ในการทดสอบ ประเมินลักษณะเนื้อ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวม ด้วยแบบทดสอบ 9-point hedonic scale ร่วมกับคำถามเชิงทวิภาค (ยอมรับ/ไม่ยอมรับ) เกี่ยวกับการยอมรับผลิตภัณฑ์โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โครงการวิจัยนี้ได้รับการพิจารณาและรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี เลขที่เอกสารรับรอง SRU-EC 2025/012 ผู้เข้าร่วมการทดสอบทุกคนได้รับข้อมูลโครงการ

และลงนามในเอกสารยินยอมเข้าร่วมการวิจัยก่อนการทดสอบ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ $p \leq 0.05$ โดยใช้โปรแกรม SPSS

2. การพัฒนากะปิผงลดโซเดียม

2.1 การพัฒนากะปิผงลดโซเดียม

โดยสูตรที่ได้รับการคัดเลือกนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นระยะเวลา 8-10 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5-8 (โดยน้ำหนัก) จากนั้นบดด้วยเครื่องบดแบบใบมีด (blade grinder) จนละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช (250 ไมโครเมตร) เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่า pH ปริมาณโซเดียมโดยวิธีไตเตรทด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (water activity) และค่าสี L^* , a^* , b^* ด้วยเครื่องวัดสีระบบ Hunter Lab

2.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางจุลินทรีย์ของกะปิลดโซเดียม

นำกะปิที่หาเคยและกะปิผงสูตรลดโซเดียมที่ผ่านการคัดเลือก วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการตามฉลากโภชนาการไทย (ฉบับเต็ม) ได้แก่ พลังงานทั้งหมด ไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โคลเลสเตอรอล โปรตีน คาร์โบไฮเดรต น้ำตาลทั้งหมด โซเดียม โพแทสเซียม เถ้า และความชื้น การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Coliforms*, *Escherichia coli*, yeasts and molds, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* โดยส่งตรวจวิเคราะห์ ณ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ ค่า pH ปริมาณโซเดียม ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ค่าสี L^* , a^* , b^* (Hunter Lab) โดยทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะเนื้อ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวม โดยวิเคราะห์คะแนนความชอบแบบ 9-point Hedonic scale ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองโดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS program

ผลการวิจัย

1. การพัฒนากระบวนการผลิตกะปิทำเคยลดโซเดียมโดยใช้สารทดแทนเกลือ

1.1 คุณสมบัติของกะปิทำเคยสูตรดั้งเดิม กะปิทำเคยเป็นผลิตภัณฑ์ประมงพื้นบ้านที่มีคุณลักษณะเฉพาะ โดยคุณภาพของกะปิแตกต่างกันตามปัจจัยด้านวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ได้แก่ ชนิดของกุ้ง วิธีการจับกุ้ง ปริมาณเกลือ และระยะเวลาการหมัก การสุ่มตรวจลักษณะปรากฏของกะปิจากสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพบความแตกต่างของสี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรส ซึ่งสะท้อนถึงความไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตในระดับครัวเรือน ชนิดของกุ้งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพกะปิ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยกะปิที่ใช้กุ้งหัวมันเป็นวัตถุดิบหลักให้กะปิสีส้มนวล เนื้อเหนียว และกลิ่นหอมจัดเป็นกะปิเกรดคุณภาพสูง ขณะที่กะปิที่ได้จากกุ้งข้างลายหรือกุ้งเคยเป็นวัตถุดิบหลักให้กะปิเนื้อละเอียดสีส้มเข้มกว่า และเหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องปรุง ส่วนกุ้งสารส้มโอให้กะปิสีม่วงคล้ำ เนื้อนิ่ม และมีกลิ่นแอมโมเนียปน จึงนิยม

ใช้ในการแปรรูปมากกว่าการจำหน่ายเป็นกะปิเกรดดี วิธีการจับกุ้งส่งผลต่อความสะอาดและสีของกะปิ โดยกุ้งจากการซื้อปึกมีความสดและสะอาดกว่ากุ้งจากอวนรุน ส่งผลให้กะปิมีสีสวยกว่า นอกจากนี้กระบวนการผลิต เช่น การตากกุ้ง การเติมเกลือ และระยะเวลาการหมัก ยังมีผลต่อสี ความเค็ม และกลิ่นรสของกะปิ โดยการหมักในระยะเวลาสั้นขึ้นทำให้กะปิมีสีคล้ำและความเค็มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามกะปิท่าเคยมักผลิตจากกุ้งที่มีการผสมระหว่างกุ้งทั้งสามชนิดแตกต่างกันตามฤดูกาลที่จับได้

กะปิท่าเคยสูตรดั้งเดิมที่เป็นสูตรมาตรฐานอ้างอิงในการศึกษานี้ ได้จากการหมักกุ้งหัวมันผสมกุ้งข้างลายเป็นระยะเวลา 180 วัน มีลักษณะเป็นกะปิขี้ต๊น น้ำเนื้อมีสีขาว เนียนละเอียด รสเข้มข้น สีน้ำตาลอมแดง รสเข้มข้น มีกลิ่นหอมเฉพาะของกะปิ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ พบว่ากะปิท่าเคยมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 55.54 ค่า water activity (a_w) เท่ากับ 0.56 และค่า pH เท่ากับ 7.86 ปริมาณโซเดียมเฉลี่ยเท่ากับ 10,103 มิลลิกรัม/100 กรัม หรือ 1,515 มิลลิกรัม/หน่วยบริโภค (15 กรัม) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ากะปิเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโซเดียมสูงดังแสดงในตารางที่ 1 อย่างไรก็ตามคุณภาพด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา, *B. cereus*, *S. aureus*, Fecal coliform และ *E. coli* อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกะปิ (มพช. 61/2561) [9] ดังแสดงในตารางที่ 5 อย่างไรก็ตามอิทธิพลของชนิดกุ้งตามฤดูกาล ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ



Figure 1 Shrimp used for shrimp paste production consisted of a mixture of three species: Yellow shrimp, Acetes shrimp, and Pomelo-sized Acetes, which significantly influenced the quality characteristics of the shrimp paste

1.2 ผลของการทดแทน NaCl ด้วย KCl ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกะปิ การผลิตกะปิท่าเคยโซเดียมต่ำโดยใช้กุ้งหัวมันหมักกับเกลือ NaCl:KCl ที่อัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 และหมักเป็นเวลา 180 วัน พบว่าร้อยละผลผลิต (%Yield) ของกะปิอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 45–50 โดยแนวโน้มของร้อยละผลผลิตลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้ KCl ซึ่งอธิบายได้จากความสามารถในการจับยืดยึดน้ำของ KCl ที่ต่ำกว่า NaCl ทำให้น้ำซึมออกจากเนื้อกะปิในระหว่างการหมักมากขึ้น [10]

ในระหว่างการหมัก 180 วัน ปริมาณความชื้น (%Moisture content) ของกะปิลดโซเดียมเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอยู่ในช่วงร้อยละ 45–50 และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วง 0.70–0.80 แสดงดังภาพที่ 2 เมื่อพิจารณาเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกะปิ (มผช. 61/2561) [9] ซึ่งกำหนดให้กะปิมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก พบว่ากะปิทุกสูตรในงานวิจัยนี้มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและบางช่วงมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดด้านกายภาพของมาตรฐานดังกล่าว แม้มาตรฐาน มผช. จะไม่ได้กำหนดค่า a_w ไว้โดยตรง แต่ค่า a_w ที่ตรวจวัดได้ในช่วง 0.70–0.80 จัดอยู่ในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคส่วนใหญ่ได้ โดยเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั่วไปต้องการค่า a_w มากกว่า 0.85 ในการเจริญเติบโต และ *S. aureus* ซึ่งทนเกลือได้สูงยังต้องการค่า a_w ขั้นต่ำประมาณ 0.86 สำหรับการสร้างสปอร์ [11] นอกจากนี้ค่า a_w ต่ำกว่า 0.80 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคส่วนใหญ่ได้อย่างมีนัยสำคัญ [12] ดังนั้นการทดแทน NaCl ด้วย KCl ในสัดส่วนที่เหมาะสมไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความชื้นและค่า a_w ในระดับที่เกินมาตรฐาน และยังคงรักษาสภาพที่เอื้อต่อความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์หมักได้

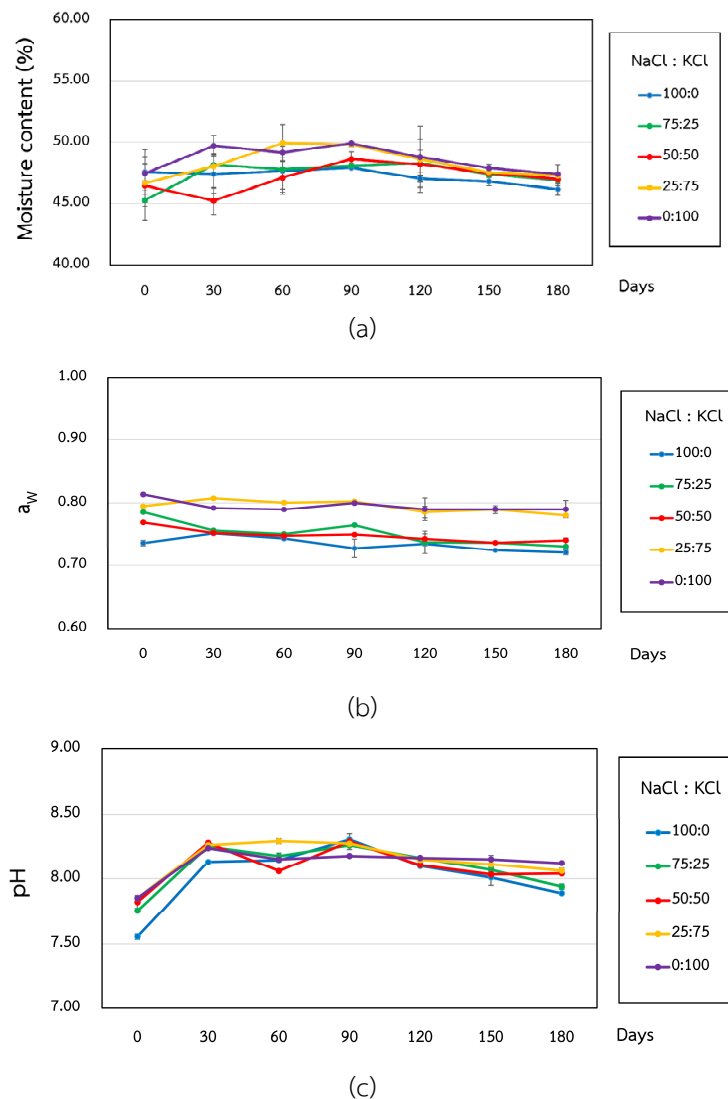


Figure 2 Changes in physicochemical properties of reduced-sodium shrimp paste during different fermentation periods: (a) moisture content (%), (b) water activity (a_w) and (c) pH

ค่า pH ระหว่างการหมักกะปิ อยู่ในช่วง 7.76–8.04 โดยในช่วง 90 วันแรกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากกระบวนการสลายโปรตีนและการเกิดสารประกอบไนโตรเจนเบส เช่น แอมโมเนีย และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มสัดส่วน KCl แทน NaCl ส่งผลให้ค่า pH สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการใช้ NaCl เพียงอย่างเดียว โดยกะปิที่ใช้ KCl ร้อยละ 100 มีค่า pH สูงที่สุด อย่างไรก็ตามการทดแทน NaCl ด้วย KCl ไม่ได้เพิ่มค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากทั้ง NaCl และ KCl มีคุณสมบัติลดค่า water activity ผ่านกลไก ionic strength ที่ใกล้เคียงกัน [13]

อย่างไรก็ตามสูตรที่ใช้ NaCl:KCl ที่อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 ส่งผลให้กะปิมีรสฝาด ขม มีกลิ่นแอมโมเนียรุนแรงจากกระบวนการสลายโปรตีน (proteolysis) และการดีอะมิเนชัน (deamination) ของกรดอะมิโนระหว่างหมัก และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคซึ่งสอดคล้องกับการสลายตัวของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในสภาวะต่าง

การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* , a^* และ b^* แสดงในภาพที่ 3 พบว่า เมื่อระยะเวลาหมักเพิ่มขึ้น ค่า L^* หรือความสว่างมีแนวโน้มลดลง หรือกะปิมีสีคล้ำขึ้น ในขณะที่ค่า a^* หรือค่าสีแดงและค่า b^* หรือค่าสีเหลืองมีความผันผวนในการหมักช่วง 90 วันแรก แต่มีแนวโน้มสีแดงและสีเหลืองลดลงเมื่อหมักนานขึ้น สอดคล้องกับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการสลายตัวของเม็ดสีจากวัตถุดิบกุ้ง อย่างไรก็ตามกะปิที่ใช้ KCl ทดแทนในอัตราส่วนที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง L^* ลดลง ในขณะที่ค่าสีแดง a^* และสีเหลือง b^* สูงกว่ากะปิทำเคยที่ไม่ได้ใช้ KCl ทดแทน

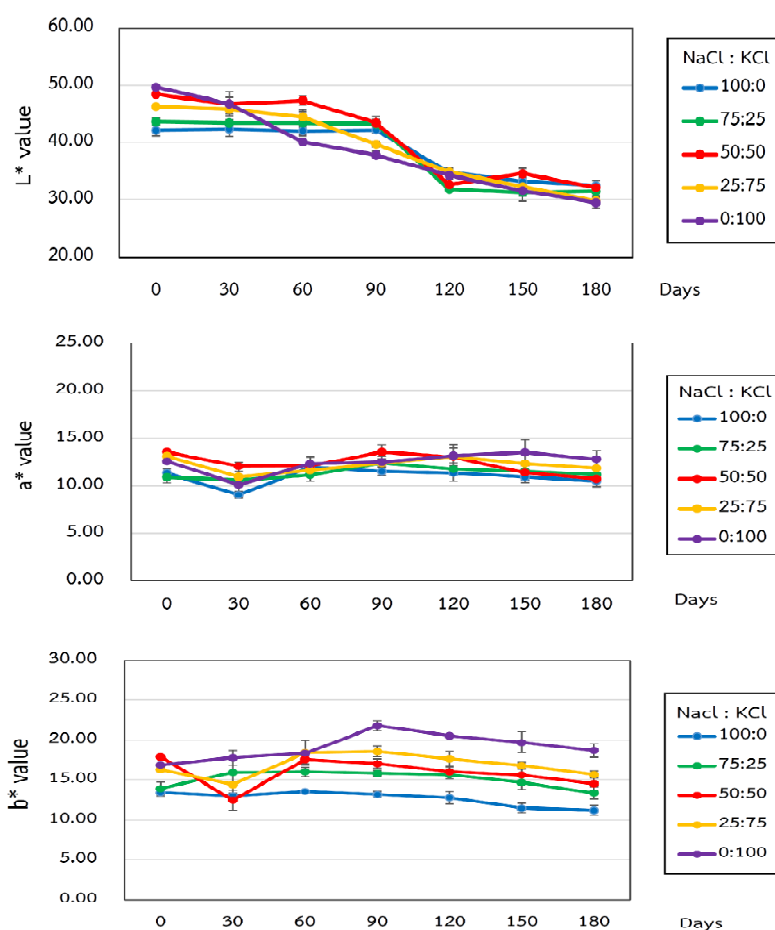


Figure 3 Changes in L^* , a^* and b^* of reduced-sodium shrimp paste during different fermentation periods

การเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมของกะปิที่ใช้เกลือผสม NaCl:KCl ระหว่างการหมักแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าปริมาณโซเดียมมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลา 180 วัน และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามช่วงเวลาการหมัก ทั้งนี้เนื่องจากเกลือเป็นสารอนินทรีย์ที่มีความเสถียร ไม่เกิดการสลายหรือเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างกระบวนการหมัก แสดงให้เห็นว่าปริมาณโซเดียมขึ้นกับสัดส่วนของเกลือที่ใช้มากกว่าระยะเวลาการหมักเมื่อหมักครบ 180 วัน กะปิทำเคยสูตรดั้งเดิมมีปริมาณโซเดียม 1,515.41 มิลลิกรัม/ซ็อนโตะ (15 กรัม) และใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง การทดแทน NaCl ด้วย KCl ส่งผลให้ปริมาณโซเดียมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตร NaCl:KCl 75:25 และ 50:50 มีปริมาณโซเดียม 826.74 และ 809.54 มิลลิกรัม/ซ็อนโตะ ตามลำดับ คิดเป็นการลดลงร้อยละ 45 และ 47 เมื่อเทียบกับสูตรอ้างอิง ขณะที่สูตร 25:75 และ 0:100 สามารถลดโซเดียมได้มากกว่าร้อยละ 50 ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมด้วยวิธีไตเตรท (ตารางที่ 1) และยืนยันว่าการลดโซเดียมเป็นผลโดยตรงจากการปรับสัดส่วนเกลือ ไม่ใช่ผลจากระยะเวลาการหมัก

ในเชิงการกล่าวอ้างทางโภชนาการ สูตร NaCl:KCl 50:50 ซึ่งมีปริมาณโซเดียม 809.54 มิลลิกรัม/ซ็อนโตะ และลดร้อยละ 47 จากสูตรอ้างอิง มีศักยภาพในการกล่าวอ้างเป็นผลิตภัณฑ์ “โซเดียมลดลง (reduced sodium)” ได้ เนื่องจากสามารถลดปริมาณโซเดียมได้มากกว่าร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับอาหารอ้างอิง ตามหลักเกณฑ์การกล่าวอ้างทางโภชนาการ [14]

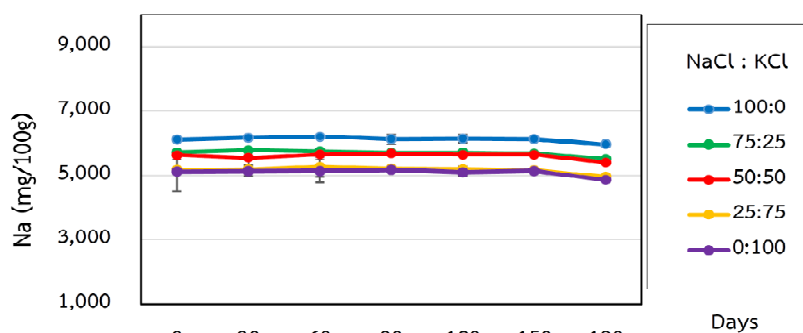


Figure 4 Changes in Sodium content (Na; mg/100g) of reduced-sodium shrimp paste during different fermentation periods.

การปรับกระบวนการหมักส่งผลต่อปริมาณโซเดียมของกะปิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแม้สูตร NaCl:KCl 100:0 ซึ่งไม่ได้มีการทดแทนด้วย KCl ก็ยังพบว่าสามารถลดปริมาณโซเดียมลงได้ร้อยละ 41 เมื่อเทียบกับกะปิทำเคยสูตรอ้างอิงโดยสูตรอ้างอิงมีปริมาณโซเดียม 1,515.41 มิลลิกรัม/ซ็อนโตะ ขณะที่สูตร NaCl:KCl 100:0 ที่ใช้กระบวนการหมักแบบปรับปรุงมีปริมาณโซเดียมลดลง 894.67 มิลลิกรัม/ซ็อนโตะ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีไตเตรท (ตารางที่ 1) กระบวนการที่ปรับปรุงประกอบด้วยการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ชนิดเม็ดละเอียด การหมักกึ่งสุรร่วมกับเกลือในถังหมักเป็นเวลา 2–4 วันก่อนการตากแดด ซึ่งแตกต่างจากวิธีดั้งเดิมที่เติมเกลือเม็ดใหญ่ในขั้นตอนการตำหยาบแล้วจึงนำไปตากแดดโดยตรง กะปิที่ได้จากกระบวนการปรับปรุงมีลักษณะสีสดและสม่ำเสมอกว่าสูตรดั้งเดิม

Table 1 Sodium content and percentage reduction in pounded shrimp and shrimp paste fermented with different NaCl–KCl ratios compared with traditional Takaey shrimp paste after 180 days of fermentation, determined by titration method

Sample	Sodium content (mg/100 g)	Sodium content (mg/tablespoon)	Sodium reduction (%) compared with reference
Traditional Takaey shrimp paste			
Pounded sun-dried shrimp (pre-fermentation)	1,920 ± 0.20	28.84 ± 2.94	–
Traditional Takaey shrimp paste (reference)	10,103 ± 10.19 ^a	1,515.41 ± 152.89 ^a	–
Shrimp paste fermented with salt substitution (180 days)			
NaCl100 : KCl0	5,964.45 ± 0.04 ^a	894.67±0.59 ^a	41
NaCl75 : KCl25	5,511.59 ± 0.08 ^b	826.74±1.18 ^b	45
NaCl50 : KCl50	5,396.96± 0.08 ^b	809.54±1.18 ^b	47
NaCl25 : KCl75	4,969.93 ± 0.08 ^c	745.49±1.18 ^c	51
NaCl0 : KCl100	4,867.23 ± 0.08 ^c	730.08±1.18 ^c	52

Notes:

Values are expressed as mean ± standard deviation. Different lowercase superscript letters within the same column indicate significant differences at the 95% confidence level ($p \leq 0.05$).

One tablespoon of shrimp paste = 15 g.

Traditional Takaey shrimp paste was used as the reference sample for sodium reduction calculation.

1.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงด้านจุลินทรีย์ของกะปิทาเคย์ที่หมักด้วยเกลือ NaCl:KCl อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 5 พบว่าในระยะเริ่มต้นของการหมัก (0 วัน) กะปิมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูง (1.1×10^5 – 3.2×10^5 CFU/g) และตรวจพบ *B. cereus*, *S. aureus* และแบคทีเรียกรดแลกติก (LAB) ซึ่งสะท้อนการปนเปื้อนจากวัตถุดิบและบทบาทของ LAB ในระยะเริ่มต้นของการหมัก

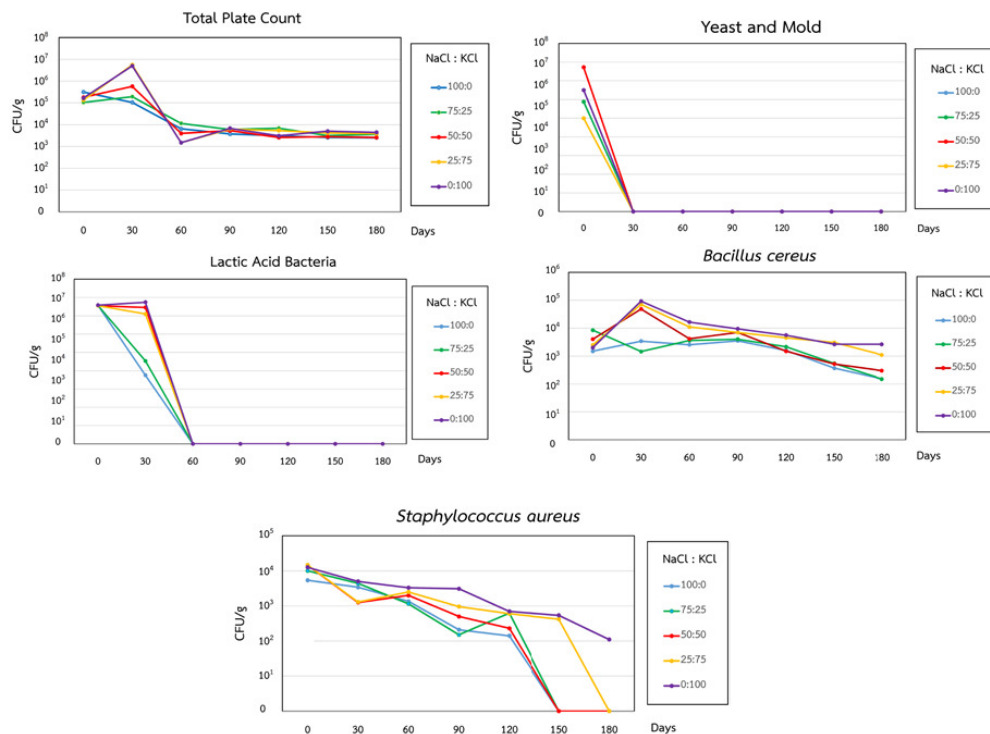


Figure 5 Changes in microbial populations (CFU/g), including Total plate count, Yeast and mold, Lactic acid bacteria, *Bacillus cereus*, and *Staphylococcus aureus*, in Takaey shrimp paste fermented with different NaCl–KCl ratios over 180 days

ในช่วง 0–60 วัน สูตรที่ใช้ KCl ในสัดส่วนสูง (25:75 และ 0:100) มีปริมาณ *B. cereus* และ *S. aureus* สูงกว่าสูตรที่ใช้ NaCl เป็นหลัก (ภาพที่ 5) แสดงให้เห็นว่า KCl มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ต่ำกว่า NaCl เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นเป็น 90–180 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อก่อโรคลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากการลดลงของปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และการสะสมของเกลือในระบบหมัก ส่งผลให้สภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยไม่พบยีสต์ รา และตรวจไม่พบ Fecal coliform และ *E. coli* หลัง 30 วัน (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และเชื้อก่อโรคสำคัญมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักกะปิเพิ่มขึ้น โดยหลังการหมัก 180 วัน กะปิลดโซเดียมทุกสูตรมีคุณภาพด้านจุลินทรีย์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามสูตรที่ใช้เกลือ NaCl:KCl อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 ยังคงมีกลิ่นแอมโมเนียสูง ค่า pH สูง และมีรสขมฝาดจากโพแทสเซียมคลอไรด์ ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคและอาจกระทบต่อความปลอดภัยและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในระยะยาว แม้จะมีการเติมสารปรับแต่งรสแล้วก็ตาม

1.4 การยอมรับทางประสาทสัมผัสของกะปิลดโซเดียม กะปิลดโซเดียมที่หมักด้วยเกลือ NaCl–KCl ในอัตราส่วนต่างๆ เป็นเวลา 180 วัน ถูกประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับกะปิทาเคย (control) ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าสูตรควบคุมให้คะแนนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม สูตร NaCl:KCl 100:0

75:25 และ 50:50 75:25 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมมากกว่า 5.0 คะแนน และมีสัดส่วนผู้ตอบรับมากกว่าร้อยละ 50 จึงจัดอยู่ในกลุ่ม “ยอมรับได้” ในขณะที่สูตร 25:75 และ 0:100 มีค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมต่ำกว่า 5.0 คะแนน และมีสัดส่วนผู้ตอบ “ยอมรับ” ต่ำกว่าร้อยละ 50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จึงจัดเป็น “ไม่ยอมรับ” ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าสูตรดังกล่าวมีกลิ่นแอมโมเนียและรสฝืดเคือง ซึ่งสัมพันธ์กับการใช้ KCl ในสัดส่วนสูง

Table 2 Sensory acceptance of reduced-sodium shrimp paste produced with different NaCl-KCl ratios compared with traditional Takaey shrimp paste

NaCl:KCl ratio	Appearance	Color	Aroma	Taste	Overall liking	Acceptance
Control	7.53±146 ^a	7.47±140 ^a	7.23±154 ^a	7.30±192 ^a	7.50±184 ^a	Accepted
100:0	6.83±146 ^b	6.77±140 ^b	5.77±154 ^b	5.87±192 ^b	5.97±184 ^b	Accepted
75:25	6.53±146 ^{bc}	6.40±140 ^{bc}	5.20±154 ^c	5.40±192 ^{bc}	5.40±184 ^c	Accepted
50:50	6.13±146 ^{cd}	6.07±140 ^{cd}	5.00±154 ^c	4.90±192 ^c	5.03±184 ^c	Accepted
25:75	5.60±146 ^e	5.53±140 ^d	3.90±154 ^{de}	3.20±192 ^d	3.43±184 ^d	Not accepted
0:100	5.80±146 ^{de}	5.83±140 ^{de}	3.33±154 ^e	2.90±192 ^d	2.87±184 ^e	Not accepted

Notes: Control refers to the traditional Takaey shrimp paste

Values are mean ± SD (n = 30). Different superscript letters in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

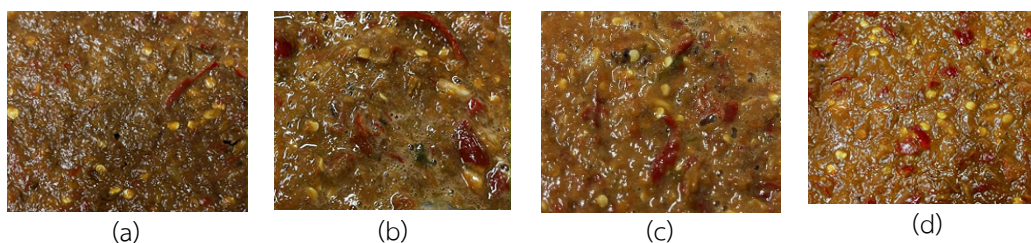
เนื่องจากกะปิมีกบรีโกลในรูปของผลิตภัณฑ์ปรุงสำเร็จ กะปิสดโซเดียมที่ผ่านการคัดเลือก (NaCl:KCl = 100:0, 75:25 และ 50:50) จึงถูกนำไปผลิตเป็นน้ำพริกกะปิ (ภาพที่ 6) เพื่อประเมินการยอมรับเพิ่มเติม ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าน้ำพริกกะปิที่ใช้กะปิสดโซเดียมทั้งสามสูตรยังคงได้รับการยอมรับ แม้คะแนนกลิ่นรสและรสชาติจะต่ำกว่าสูตรควบคุมเล็กน้อย โดยสูตร NaCl:KCl 50:50 ให้คะแนนความชอบรวมสูงที่สุดในกลุ่มกะปิสดโซเดียม และไม่แตกต่างจากสูตร 75:25 อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าสูตร 50:50 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนากะปิสดโซเดียมที่ยังคงคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรการผลิตกะปิสดโซเดียมที่ใช้อัตราส่วนเกลือ NaCl:KCl ที่ระดับ 50:50 ซึ่งเป็นสูตรที่สามารถลดปริมาณโซเดียมได้ร้อยละ 40-47 เป็นสูตรที่มีศักยภาพและความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นกะปิสดโซเดียม และสามารถนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ต่อไป

Table 3 Sensory acceptance of shrimp paste chili sauce prepared from reduced-sodium shrimp paste compared with the control

NaCl:KCl ratio	Appearance	Color	Aroma	Taste	Overall liking
Control	8.57±0.10 ^a	8.53±0.11 ^a	8.50±0.13 ^a	8.07±0.13 ^a	8.30±0.13 ^a
100:0	8.17±0.10 ^b	8.23±0.11 ^{ab}	8.03±0.13 ^b	6.90±0.13 ^b	7.17±0.13 ^b
75:25	8.20±0.10 ^b	8.27±0.11 ^{ab}	7.90±0.13 ^b	6.37±0.13 ^c	6.84±0.13 ^c
50:50	8.00±0.10 ^b	8.03±0.11 ^b	7.70±0.13 ^b	6.70±0.13 ^{bc}	7.07±0.13 ^{bc}

Notes: Control refers to the traditional Takaey paste chili sauce

Values are mean ± SD (n = 30). Different superscript letters in the same column indicate significant differences (p ≤ 0.05)

**Figure 6** Shrimp paste chili sauce prepared from reduced-sodium shrimp paste fermented with different NaCl-KCl ratios: (a) traditional Takaey shrimp paste (control), (b) 100:0, (c) 75:25, (d) 50:50

2.การพัฒนากะปิผงลดโซเดียม

2.1 การพัฒนากะปิผงลดโซเดียมกะปิสดโซเดียมสูตร NaCl:KCl 50:50 ที่ผ่านการคัดเลือก ถูกนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ลดการเจริญของจุลินทรีย์ และลดกลิ่นไม่พึงประสงค์จากการหมัก คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของกะปิผงลดโซเดียมพบว่ามีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 60 ของกะปิก่อนอบ หรือคิดเป็นร้อยละ 30 ของวัตถุดิบกุ้งตั้งต้น โดยหนึ่งหน่วยบริโภคของกะปิผงลดโซเดียม 1 ช้อนโต๊ะ เท่ากับ 9 กรัม เทียบเท่ากับหนึ่งหน่วยบริโภคของกะปิก่อนอบแห้ง 1 ช้อนโต๊ะ 15 กรัม (ภาพที่ 7) กะปิผงลดโซเดียมมีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.70 ค่า a_w เท่ากับ 0.38 และค่า pH เท่ากับ 6.65 จัดเป็นอาหารแห้ง ($a_w < 0.60$) ซึ่งเอื้อต่อความปลอดภัยและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ โดยคุณภาพจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและไม่พบเชื้อก่อโรคสำคัญ



Figure 7 Reduced-sodium shrimp paste powder.

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางจุลินทรีย์ของกะปิลดโซเดียมเมื่อเปรียบเทียบกับคุณค่าทางโภชนาการ (ตารางที่ 4) พบว่ากะปิผงลดโซเดียมมีพลังงาน โปรตีน ไขมัน และโพแทสเซียมต่อหน่วยบริโภคสูงขึ้นจากการลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ ขณะที่ปริมาณโซเดียมต่อหนึ่งหน่วยบริโภคของกะปิผงลดลงจาก 1,100 มิลลิกรัม/15 กรัม (กะปิทำเคย) เหลือ 530 มิลลิกรัม/9 กรัม คิดเป็นการลดลงร้อยละ 52 เมื่อเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์สามารถกล่าวอ้างเป็นผลิตภัณฑ์โซเดียมน้อย (light sodium) ได้เนื่องจากมีการลดปริมาณโซเดียมลงมากกว่าร้อยละ 50 ตามหลักเกณฑ์การกล่าวอ้างทางโภชนาการ [14]

Table 4 Comparison of nutritional composition between traditional Takaey shrimp paste and reduced-sodium shrimp paste powder

Nutrition facts	Traditional Takaey shrimp paste		Reduced-sodium shrimp paste powder	
	per 100 g	per serving (15 g)	per 100 g	per serving (9 g)
Energy (kcal)	132.32	15	255.35	20
Total fat (g)	1.76	0	4.63	0
Saturated fat (g)	0.80	0	2.05	0
Cholesterol (mg)	409.83	60	857.27	75
Protein (g)	26.34	4	41.44	4
Total carbohydrate (g)	2.78	0	11.98	1
Total sugars (g)	Not Detected	0	Not Detected	0
Sodium (mg)	7,331.370	1,100	5,870.330	530
Potassium (mg)	360.271	55	8,998.360	810
Ash (g)	20.33	-	36.71	-
Moisture (g)	48.79	-	5.24	-

Table 5 Microbiological quality of traditional Takaey shrimp paste and reduced-sodium shrimp paste powder

Microorganisms	Traditional Takaey shrimp paste	Reduced-sodium shrimp paste powder	Microbiological criteria
Total Plate Count (CFU/g)	2.4×10^3	32	$\leq 1 \times 10^5$ CFU/g
Yeast & Mold (CFU/g)	<100	<100	$\leq 1 \times 10^3$ CFU/g
Fecal coliform (MPN/g)	<3	<3	<3 MPN/g
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	<3	<3	<3 MPN/g
<i>Bacillus cereus</i> (CFU/g)	150	<100	$\leq 1 \times 10^3$ CFU/g
<i>Clostridium perfringens</i> (CFU/g)	<10	<10	$\leq 1 \times 10^3$ CFU/g
<i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)	<10	<10	≤ 100 CFU/g
<i>Salmonella</i> spp. (/25g)	Not Detected	Not Detected	Not detected in 25 g

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของกะปิผงลดโซเดียมแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด [9, 15] ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 32 CFU/g และไม่พบ *Salmonella* spp. ขณะที่ *S. aureus*, *B. cereus* และ *C. perfringens* ตรวจพบในระดับต่ำกว่าค่ากำหนด ทั้งนี้ค่า water activity (0.38) และความชื้นต่ำของผลิตภัณฑ์มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และสนับสนุนศักยภาพในการยืดอายุการเก็บรักษา

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

กะปิแช่น้ำทำเคยเป็นอาหารหมักจากกุ้งและเกลือที่มีอัตลักษณ์ของชุมชน แต่มีข้อจำกัดสำคัญด้านปริมาณโซเดียมสูงซึ่งสัมพันธ์กับความเสี่ยงโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ส่งผลให้ผู้บริโภคกลุ่มดูแลสุขภาพและกลุ่มเสี่ยงหลีกเลี่ยงการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีกะปิเป็นส่วนประกอบ งานวิจัยนี้จึงพัฒนากระบวนการผลิตกะปิลดโซเดียมโดยทดแทน NaCl ด้วย KCl (อัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50 และ 0:100) ร่วมกับการเติมทอรีนและกรดแอสคอร์บิกเพื่อลดรสขม และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติระหว่างการผลิต 180 วันทั้งด้านเคมีกายภาพ ปริมาณโซเดียม จุลินทรีย์ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมต่อการต่อ ยอดเชิงพาณิชย์

ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิตพบว่า อัตราส่วนเกลือเป็นปัจจัยกำหนดคุณภาพเด่นกว่าระยะเวลาการหมักในหลายตัวชี้วัด โดยร้อยละผลผลิต (%Yield) ลดลงตามกระบวนการตากและการสูญเสียไอน้ำในระบบหมัก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วน KCl โดย NaCl มีประสิทธิภาพสูงกว่าในการละลายโปรตีนไมโอไฟบริลล์และเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของเนื้อสัตว์ เมื่อใช้ KCl ซึ่งมีความสามารถในการละลายโปรตีนต่ำกว่า จึงทำให้การยืดจับน้ำและการเกิดโครงสร้างกึ่งเจลลดลงและมีน้ำซึมออกบริเวณผิวมากขึ้น [10] ส่งผลให้ผลผลิตลดลง ความชื้นและค่า water activity (a_w) มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยในสูตรที่มีการทดแทน KCl สูง (ภาพที่ 2) ส่วนค่าสี (L^* , a^* , b^*) มีแนวโน้มความสว่างลดลง

ตามเวลาหมัก (ภาพที่ 3) สะท้อนการเกิดออกซิเดชันของไขมันและการสลายตัวของเม็ดสีในกุ้ง เช่น carotenoids ที่เกี่ยวข้องกับโทนสีส้ม-แดง [16] สูตรที่ใช้ NaCl:KCl ในอัตราส่วน 25:75 และ 0:100 แสดงค่าสีเหลือง b^* สูงและมีกลิ่นแอมโมเนียรุนแรงกว่าสูตรควบคุม ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากกระบวนการสลายโปรตีน (proteolysis) และการดื้ออะมิโนเนชัน (deamination) ของกรดอะมิโนระหว่างการหมักกะปิ ซึ่งเกิดจากเอนไซม์จากเนื้อกุ้งเอง (endogenous proteases) และจุลินทรีย์ทนเกลือ (halophilic และ halotolerant bacteria) ย่อยสลายโปรตีนให้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโนอิสระ ทำให้เกิดการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนเบสระเหยได้ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) และ trimethylamine (TMA) โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์หมักสัตว์น้ำที่มีปริมาณโปรตีนสูงส่งผลให้เกิดแอมโมเนียและทำให้ค่า pH มีแนวโน้มสูงขึ้น [17]

นอกจากนี้การทดแทน NaCl ด้วย KCl ในสัดส่วนสูงอาจส่งผลต่อสมดุลของจุลินทรีย์ระหว่างการหมัก เนื่องจาก NaCl มีบทบาทคัดเลือก (selective pressure) ต่อจุลินทรีย์ที่เค็มเฉพาะกลุ่ม ในขณะที่ KCl แม้สามารถลดค่า water activity ได้ใกล้เคียงกัน แต่มีรายงานว่า การแทนที่ด้วย KCl ในระดับสูงอาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์และอัตราการสลายโปรตีน ส่งผลให้เกิดสารไนโตรเจนระเหยได้มากขึ้น [18] โดยในการศึกษานี้พบว่าในระหว่างการหมักกะปิตรวจพบการเจริญของ *B. cereus* ที่มีบทบาทในการย่อยโปรตีนและกรดอะมิโนจนเกิดสารระเหย เช่น แอมโมเนีย [19, 20] ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค

ค่า pH ของกะปิอยู่ในช่วงต่างอ่อนและผันผวนเล็กน้อยระหว่างการหมัก โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 90 วันแรกจากการย่อยสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโนและกรดไขมันอิสระ ก่อนจะลดลงเล็กน้อยในระยะหลังจากการสะสมของกรดอินทรีย์ที่เกิดจากแบคทีเรียทนเกลือสูงที่มีบทบาทในอาหารหมักจากสัตว์น้ำ [21] นอกจากนี้ ค่า pH ที่อยู่ในช่วงต่าง (7.7–8.0) เอื้อต่อการอยู่ในรูป NH_3 (un-ionized ammonia) มากกว่า NH_4^+ ซึ่งทำให้รับรู้กลิ่นฉุนได้ชัดเจนขึ้น เนื่องจาก NH_3 เป็นสารระเหยได้ดี [22] ดังนั้นกลิ่นแอมโมเนียที่รุนแรงในสูตรที่มี KCl สูงจึงอาจเกิดจากการสลายโปรตีนที่เข้มข้นขึ้นร่วมกับสภาวะ pH ต่างที่เอื้อต่อการระเหยของแอมโมเนีย

ผลด้านจุลินทรีย์สนับสนุนความปลอดภัยของกระบวนการเมื่อเวลาหมักเพิ่มขึ้น โดยปริมาณจุลินทรีย์ตามเกณฑ์มาตรฐานมีแนวโน้มลดลงชัดเจนในระยะหลังของการหมักซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของ a_w และแรงกดดันออสโมติก (osmotic stress) จากเกลือ โดยการเพิ่มปริมาณเกลือรวม (NaCl/KCl) ในกระบวนการหมักจะลดค่า a_w ของกะปิ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคหลายชนิด โดยทั่วไปจุลินทรีย์ก่อโรคต้องการค่า a_w สูงกว่า 0.85 เพื่อเจริญเติบโต แต่ในผลิตภัณฑ์หมักที่มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.70–0.80 จะยับยั้งการเจริญของเชื้อเหล่านี้ได้อย่างมีนัยสำคัญ [22] นอกจากนี้ NaCl และ KCl สร้างสภาวะ osmotic stress ต่อเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้น้ำถูกดึงออกจากเซลล์ (plasmolysis) ส่งผลให้การเผาผลาญและการแบ่งตัวของจุลินทรีย์ชะลอหรือหยุดลง [23]

อย่างไรก็ตามในช่วง 30–60 วันแรก สูตรที่ใช้ NaCl:KCl ในอัตราส่วน 25:75 และ 0:100 มีแนวโน้มยับยั้งจุลินทรีย์ได้น้อยกว่า NaCl ทำให้ตรวจพบเชื้อบางชนิดในระดับสูงกว่าเกณฑ์ในบางช่วงเวลา สอดคล้องกับข้อมูลว่าสมรรถนะการยับยั้งจุลินทรีย์ของเกลือแต่ละชนิดและผลต่อการเลือกจำเพาะของจุลินทรีย์ (microbial selection) แตกต่างกัน ส่งผลต่อการย่อยโปรตีนและการเกิดกลิ่นจากแอมโมเนีย และส่งผลให้คะแนนประสาทสัมผัสที่ลดลงในสูตรอัตราส่วน KCl สูง [23] อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยหลายงานที่คัดแยกจุลินทรีย์ที่พบในกะปิ โดยแบคทีเรียที่มีบทบาทหลักในกะปิ จัดอยู่ในกลุ่มทนเกลือสูง (halotolerant) และย่อยโปรตีนได้ (proteolytic) ได้แก่ *Tetragenococcus halophilus*, *Tetragenococcus muriticus*,

Virgibacillus halodenitrificans, *Lentibacillus lipolyticus*, *Lentibacillus kapiialis*, *Salinicoccus* sp., และ *Allobacillus halotolerans* แบคทีเรียกลุ่มเหล่านี้มีบทบาทสร้างกรดแลคติก และมีเอนไซม์ protease ช่วยย่อยโปรตีน เกิดกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น Glu, Asp, Gly, Leu, Lys ให้เกิดรสชาติ กลิ่นเฉพาะ และสารต้านอนุมูลอิสระ [24-27]

ด้านปริมาณโซเดียม พบว่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาการหมัก (ภาพที่ 4) เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์และโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นสารอนินทรีย์ที่มีความเสถียร ไม่ถูกทำลายระหว่างกระบวนการหมัก อย่างไรก็ตามการทดแทน NaCl ด้วย KCl ในอัตราส่วน 75:25 และ 50:50 สามารถลดปริมาณโซเดียมลงได้ร้อยละ 40-47 เมื่อเทียบกับกะปิทำเคยสูตรดั้งเดิม (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาพร้อมกับผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสทั้งในรูปกะปิโดยตรงและน้ำพริกกะปิผลิตภัณฑ์ตัวแทนการบริโภคจริงในตารางที่ 2 และ 3 พบว่าสูตร 50:50 ให้ความสมดุลเหมาะสมที่สุดระหว่าง “การลดปริมาณโซเดียม” และ “ความยอมรับของผู้บริโภค” ขณะที่สูตรที่มีสัดส่วน NaCl:KCl เท่ากับ 25:75 และ 0:100 แม้ลดโซเดียมได้มากกว่า แต่มีข้อด้อยด้านกลิ่นแอมโมเนียและรสฝาดขม ส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงไม่เหมาะต่อการพัฒนาเชิงพาณิชย์ในบริบทวิสาหกิจชุมชนแม้มีการใช้สารปรับแต่งรสเพื่อบรรเทารสขมแล้วก็ตาม

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตมีบทบาทสำคัญต่อปริมาณเกลือสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนเกลือเพียงอย่างเดียว การหมักกึ่งสูตรร่วมกับเกลือในถังหมักก่อนการตากทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสและการแพร่ (osmosis and diffusion) อย่างรวดเร็ว น้ำจากเนื้อกุ้งถูกดึงออกมาเกิดเป็นน้ำเกลือ (brine) ภายในระบบ เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการตากแดด น้ำเกลือบางส่วนอาจสูญเสียออกจากผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ปริมาณโซเดียมรวมลดลง กลไกดังกล่าวแตกต่างจากวิธีดั้งเดิมที่เติมเกลือเม็ดใหญ่ในขั้นตอนการตำ ซึ่งละลายช้ากว่าและไม่เกิดการสูญเสียผ่านน้ำเกลือในระยะต้น [22] การใช้เกลือเม็ดละเอียดช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ทำให้เกลือละลายและกระจายตัวสม่ำเสมอมากขึ้น ส่งผลให้สามารถใช้ปริมาณเกลือรวมลดลงแต่ยังคงประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ผ่านกลไก osmotic stress ได้ [23] นอกจากนี้การหมักก่อนตำช่วยลดการสัมผัสออกซิเจนในระยะต้น และลดการทำลายโครงสร้างเนื้อเยื่อจากการตำทันที ส่งผลให้แรงกดของกุ้ง เช่น แอสตาแซนทิน มีความเสถียรมากขึ้น จึงให้สีที่สดและสม่ำเสมอว่า ขณะที่กระบวนการตากก่อนหมักอาจเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและแรงกดตัว ทำให้สีคล้ำเร็วขึ้น [28, 29]

ในเชิงกฎหมายอาหารการใช้คำกล่าวอ้างทางโภชนาการเกี่ยวกับโซเดียมต้องเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182 พ.ศ.2541 เรื่อง การแสดงฉลากโภชนาการ [12] โดยผลิตภัณฑ์นี้ไม่เข้าเกณฑ์ “โซเดียมต่ำ” (low sodium) เนื่องจากยังมีปริมาณโซเดียมมากกว่า 140 มิลลิกรัม/หนึ่งหน่วยบริโภค อย่างไรก็ตามเนื่องจากสามารถลดปริมาณโซเดียมได้มากกว่าร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อ้างอิง จึงสามารถใช้คำกล่าวอ้าง “โซเดียมลดลง” (reduced sodium) ได้ ภายใต้เงื่อนไขว่าต้องระบุอาหารอ้างอิงและแสดงร้อยละการลดลงอย่างชัดเจนบนฉลาก

สำหรับผลิตภัณฑ์กะปิผงลดโซเดียมที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C จนมีความชื้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 4.70 และค่า a_w เท่ากับ 0.38 จัดอยู่ในกลุ่มอาหารแห้งที่มีความเสี่ยงต่ำต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและลดความชื้นของกลิ่นจากกระบวนการหมัก ผลการตรวจคุณภาพจุลินทรีย์สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.61/2561) และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 พ.ศ.2566 [9, 11] ทั้งนี้การอบแห้งทำให้สารอาหารเข้มข้นขึ้นตามการลดน้ำ ส่งผลให้พลังงานโปรตีน และแร่ธาตุบางชนิดต่อหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะโพแทสเซียมสูงขึ้นตามการใช้ KCl อย่างไรก็ตาม

ตามการกล่าวอ้างทางโภชนาการควรอ้างอิงผลวิเคราะห์ซ้ำภายใต้สภาวะการผลิตจริง เนื่องจากคุณภาพกะปิอาจแปรผันตามชนิดกุ้ง ฤดูกาล และกระบวนการผลิตของแต่ละชุมชน ดังนั้นในระยะต้นแบบของงานวิจัยการใช้คำว่า“โซเดียมลดลง” หรือ “สูตรโซเดียมลดลง” (reduced sodium) จึงเป็นกรอบคำกล่าวอ้างที่เหมาะสมและสอดคล้องกับกฎหมาย มากกว่าการใช้คำที่อาจก่อให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน เช่น “โซเดียมน้อย” หรือ “โซเดียมต่ำ” ซึ่งมีเกณฑ์เฉพาะตามกฎหมายกำหนด

โดยสรุปงานวิจัยนี้ได้ต้นแบบกะปิหัวเคยสูตรลดโซเดียมที่เหมาะสมต่อการผลิตระดับวิสาหกิจชุมชน โดยสูตร NaCl:KCl เท่ากับ 50:50 ร่วมกับทอริน 1% และกรดแอสคอร์บิก 0.1% และปรับกระบวนการหมักให้สมดุลที่ดีที่สุดในระหว่างคุณภาพด้านเคมีกายภาพ ความปลอดภัยจุลินทรีย์ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส พร้อมลดโซเดียมได้ในระดับที่เข้าข่ายการกล่าวอ้าง “โซเดียมลดลง” ตามเกณฑ์กฎหมาย ขณะเดียวกันการพัฒนาเป็นกะปิผงลดโซเดียมช่วยเพิ่มเสถียรภาพการเก็บรักษาและเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน เหมาะต่อการต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพเชิงพาณิชย์ของชุมชนต่อไป เช่น การพัฒนาซอสกะปิลดโซเดียม ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้จริง ได้แก่ (1) การผลิตซ้ำหลายล็อตภายใต้การควบคุมวัตถุดิบและสภาวะการหมักให้คงที่เพื่อยืนยันความสม่ำเสมอของโซเดียมและคุณภาพ (2) การกำหนดเกณฑ์ควบคุมกระบวนการ (เช่น เกลือชนิด/ขนาดผลึก วิธีเติมเกลือ ค่า a_w และจุลินทรีย์ตัวชี้วัด) เพื่อคุมความปลอดภัยในช่วง 30–60 วันแรก และ (3) การกำหนดข้อความกล่าวอ้างทางโภชนาการบนฉลากให้สอดคล้องกับผลวิเคราะห์จริงและเกณฑ์กฎหมายทุกประการก่อนขยายตลาด

References

- [1] World Health Organization. (2023). *Sodium Reduction (Fact Sheet)*. Available from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sodium-reduction>. Accessed date: 25 September 2025.
- [2] Department of Disease Control, Ministry of Public Health. (2020). *National Strategy for Salt and Sodium Reduction in Thailand (2016–2025)*. Available from <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1069820201102080455.pdf>. Accessed date: 5 March 2025. (in Thai)
- [3] Rujirapong, C., et al. (2023). Quality Changes When Replacing NaCl With KCl in Shrimp Head Paste. *Food Science and Technology (Campinas)*, 43, e108121.
- [4] Mahannopkul, W., & Yossaksri, J. (2018). Development of Salt Substitute for Reduction of Sodium in Ready to Eat Mushroom Soup and Snack Foods. *Bulletin of Applied Sciences*, 7(7), 77-88. (in Thai)
- [5] Stokkers, G. J., & Altena, E. (2010). *Process to Prepare a Low-Sodium Salt Product, Product Obtainable Thereby and the Use Thereof*. Available from <https://patents.google.com/patent/ES2586063T3/en>. Accessed date: 3 January 2025.
- [6] Rojsunthornkitit, K., et al. (2019). *Effects of Sodium Replacement in Fermented Shrimp Paste During Fermented Process on Antioxidation Properties* (Research report). Phitsanulok: Naresuan University. (in Thai)

- [7] AOAC International. (2019). *Official Methods of Analysis* (21st ed.). AOAC International.
- [8] U.S. Food and Drug Administration. (2020). *Bacteriological Analytical Manual (BAM)*. Available from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>. Accessed date: 10 January 2025.
- [9] Thai Industrial Standards Institute. (2006). *Community Product Standard for Shrimp Paste* (CPS 61/2006). Ministry of Industry. (in Thai)
- [10] Vidal, V. A. S., et al. (2019). Understanding the Effect of Different Chloride Salts on Water Behavior in a Salted Meat Matrix During 180 Days of Shelf Life. *Food Research International*, 125, 108631.
- [11] U.S. Food and Drug Administration. (2012). *Bad Bug Book: Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook*. Available from <https://www.fda.gov/media/83271/download>. Accessed date: 10 January 2025.
- [12] Jay, J. M., et al. (2005). *Modern Food Microbiology* (7th ed.). Springer.
- [13] Barbosa-Cánovas, G. V., et al. (2007). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Blackwell Publishing.
- [14] Ministry of Public Health. (1998). *Notification of the Ministry of Public Health (No. 182 B.E. 2541 [1998]): Nutrition Labeling*. Royal Thai Government Gazette. (in Thai)
- [15] Thai Food and Drug Administration. (2020). *Clarification of the Notification of the Ministry of Public Health (No. 416) B.E. 2563 (2020) Regarding Microbiological Standards, Criteria, Conditions, and Analytical Methods for Pathogenic Microorganisms in Foods*. Ministry of Public Health. (in Thai)
- [16] Sumardianto, A., et al. (2024). Sodium Content in Fermented Shrimp Paste With Varying Packaging Materials. *Food Research*, 8(3), 187-191.
- [17] Steinkraus, K. H. (2002). *Handbook of Indigenous Fermented Foods* (2nd ed.). Marcel Dekker.
- [18] Lin, X., et al. (2021). Sodium Reduction in Traditional Fermented Foods: Challenges, Strategies, and Perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(29), 8065–8080.
- [19] Pongsetkul, J., et al. (2014). Chemical Composition and Physical Properties of Salted Shrimp Paste (Kapi) Produced in Thailand. *International Aquatic Research*, 6, 155–166.
- [20] Gu, M., et al. (2025). A Novel Fermentation Process for Low Salt Shrimp Paste Based on Microbial Diversity and Physicochemical Properties Analysis. *Food Chemistry: X*, 27, 102465.
- [21] Kleekayai, T., et al. (2014). Characterization and In Vitro Biological Activities of Thai Traditional Fermented Shrimp Pastes. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1839–1848.
- [22] Fellows, P. (2017). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (4th ed.).

Woodhead Publishing.

- [23] Lelieveld, H. L., et al. (2005). *Microbiology and Safety of Foods* (2nd ed.). Springer.
- [24] Kobayashi, T., et al. (2003). Isolation and Characterization of Halophilic Lactic Acid Bacteria Isolated From “Terasi” Shrimp Paste: A Traditional Fermented Seafood Products in Indonesia. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 49(5), 279–286.
- [25] Pakdeeto, A., et al. (2007). *Lentibacillus kapialis* sp. nov., From Fermented Shrimp Paste in Thailand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57(2), 364–369.
- [26] Tanasupawat, S., & Visessanguan, W. (2008). Thai Fermented Foods. In E. R. Farnworth (Ed.), *Handbook of Fermented Functional Foods* (2nd ed., p. 495–512). CRC Press.
- [27] Sheu, S.-Y., et al. (2011). *Allobacillus halotolerans* gen. nov., sp. nov., Isolated From Shrimp Paste. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61(5), 1023–1027.
- [28] Shahidi, F., & Zhong, Y. (2010). Lipid Oxidation and Improving the Oxidative Stability. *Chemical Society Reviews*, 39(11), 4067–4079.
- [29] Tamang, J. P., et al. (2016). Diversity of Microorganisms in Global Fermented Foods and Beverages. *Frontiers in Microbiology*, 7, 377.