

บทความวิจัย (Research Article)

ผลของปลาชิวแก้มวง (*Clupeichthys aesarnensis*) ต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัส คุณภาพทางประสาทสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภค และคุณค่าทางโภชนาการของลูกชิ้นปลาสวาย Effects of Thai river sprat (*Clupeichthys aesarnensis*) fish powder on the textural properties, sensory quality, consumer acceptance and nutritional value of striped catfish fish ball

จักรินทร์ ตริอินทอง^{1*} และ ปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์²

Jukkarin Treeinthong^{1*} and Piyachat Wiriyaampaiwong²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

²สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

¹Department of Fishery Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University

²Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University

*Corresponding author: jukkarin.tr@ksu.ac.th

วันที่รับบทความ (Received)

19 กันยายน 2568

วันที่ได้รับบทความฉบับแก้ไข (Revised)

30 พฤศจิกายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ (Accepted)

1 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของปลาชิวแก้มวง (ร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 10 (w/w)) ต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัส คุณภาพทางประสาทสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภค และคุณค่าทางโภชนาการของลูกชิ้นปลาสวาย ผลการศึกษาพบว่า การเติมปลาชิวแก้มวงมีผลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลปลาสวาย โดยการเติมปลาชิวแก้มวงทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ (ที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 10) ค่าความแข็งแรงเจล (ที่ระดับร้อยละ 1 และ 3) ความแข็ง (ที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5) การสูญเสียน้ำหนัก (ที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5) และความขาวของเจลปลาสวายลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเติมปลาชิวแก้มวงไม่ส่งผลต่อค่าระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ การเกาะตัว และความยืดหยุ่นของเจลปลาสวาย ($p > 0.05$) ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาสวาย พบว่า การเติมปลาชิวแก้มวงร้อยละ 1 มีคะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($p > 0.05$) แต่สูงกว่าการเติมที่ระดับร้อยละ 3, 5 และ 10 ($p < 0.05$) จึงคัดเลือกลูกชิ้นปลาสวายที่เติมปลาชิวแก้มวงร้อยละ 1 เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการประเมินพบว่า ลูกชิ้นปลาสวายได้คะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 7.04) และมีการยอมรับจากผู้บริโภคคิดเป็นร้อยละ 91 ด้านคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า การเติมปลาชิวแก้มวงร้อยละ 1 ทำให้ลูกชิ้นปลาสวายมีปริมาณโปรตีน ไขมัน พลังงาน และแคลเซียมสูงกว่าลูกชิ้นปลาสวายตัวอย่างควบคุม ($p < 0.05$) ดังนั้น การใช้ปลาชิวแก้มวงที่ร้อยละ 1 ในลูกชิ้นปลาสวายจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านการยอมรับของผู้บริโภคและคุณค่าทางโภชนาการ

คำสำคัญ: ลูกชิ้นปลาสวาย, ปลาชิวแก้มวง, สมบัติด้านเนื้อสัมผัส, การยอมรับของผู้บริโภค, คุณค่าทางโภชนาการ

Abstract

This study investigated the effects of Thai river sprat fish powder (TRS-FP) supplementation (0, 1, 3, 5, and 10% w/w) on the textural properties, sensory quality, consumer acceptance, and nutritional value of striped catfish fish balls. The results showed that the addition of TRS-FP influenced the textural properties of the fish gel. Specifically, supplementation at 1, 3, and 10% significantly reduced breaking force; at 1 and 3% reduced gel strength; at 1, 3, and 5% reduced hardness; at 1, 3, and 5% increased expressible water; and reduced whiteness of the gel compared with the control ($p < 0.05$). However, TRS-FP had no significant effect on breaking distance, cohesiveness, and springiness ($p > 0.05$). Sensory evaluation of the fish balls revealed that the 1% TRS-FP formulation obtained an overall liking score not significantly different from the control ($p > 0.05$), but significantly higher than the 3%, 5%, and 10% formulations ($p < 0.05$). Therefore, the 1% TRS-FP fish balls were selected for consumer acceptance testing with 100 consumers and for nutritional comparison with the control. The results showed that the product received an average overall liking score of 7.04 (moderately liked) with a consumer acceptance rate of 91%. Nutritional analysis indicated that the 1% TRS-FP fish balls contained significantly higher protein, fat, energy, and calcium compared with the control samples ($p < 0.05$). Therefore, incorporating 1% TRS-FP into striped catfish fish ball is considered the optimal condition in terms of both consumer acceptability and nutritional value.

Keywords: Striped catfish fish ball, Thai river sprat fish powder, textural properties, consumer acceptance, nutritional value

บทนำ

เนื้อสัมผัสเป็นสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลา (fish jelly products) เช่น ลูกชิ้นปลา ไส้กรอกปลา และคามาโบโกะ (kamaboko) เป็นต้น เนื้อสัมผัสที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เหล่านี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีนในเนื้อปลาโดยเกลือร้อยละ 2-3 ไปละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ทำให้เนื้อปลามีความเหนียวมากขึ้น เมื่อนำไปให้ความร้อน โมเลกุลโปรตีนเกิดการคลายตัว แล้วเกิดการรวมตัวกันอย่างช้า ๆ ด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่น ๆ ที่มีโมเลกุลต่ำไว้ภายใน เรียกว่า เจลโปรตีน [1] ทั้งนี้คุณภาพของเจลโปรตีนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโปรตีน สภาพการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับชนิดปลา ความเข้มข้นของโปรตีน pH และความแรงไอออน [2] ชนิดของปลาที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจึงให้เนื้อสัมผัสที่มีลักษณะแตกต่างกัน ลูกชิ้นปลาเป็นผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางเนื่องจากรับประทานง่าย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส่วนใหญ่นิยมผลิตจากปลาทะเลมากกว่าปลาน้ำจืดเนื่องจากปลาทะเลมีเนื้อสีขาว ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสที่ดีกว่าปลาน้ำจืด ทั้งนี้เกิดจากโปรตีนจากปลาน้ำจืดมีความสามารถในการเกิดเจลอยู่ในระดับปานกลาง [3] จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนจากปลาน้ำจืดด้วยหลากหลายวิธีการ เช่น การใช้ความดัน เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (transglutaminase enzyme) สารเติมแต่งอาหารที่เป็นโปรตีนและไม่ใช่โปรตีน การปรับปรุงขั้นตอนการเตรียมเนื้อปลาสด [4] ด้วยยั้งเอนไซม์โปรตีเอส [5] และไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลา [6] เป็นต้น การล้างเนื้อปลาสดเป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมเนื้อปลาสดซึ่งมีผลต่อความสามารถในการเกิดเจล โดยการล้างเนื้อปลาสดเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยขจัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิก ไขมัน และสารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่งผลให้สัดส่วนของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เพิ่มขึ้นและสามารถสร้างโครงข่ายเจลที่มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น และมีคุณภาพด้านประสาทสัมผัสดีขึ้น อย่างไรก็ตาม

ก็ตาม การล้างในจำนวนรอบที่มากเกินไปอาจทำให้สูญเสียโปรตีนที่จำเป็นและลดคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้น จึงควรควบคุมสภาวะการล้างให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างคุณภาพเจลและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ [1, 4]

ปลาสาวย (*Pangasianodon hypophthalmus*) เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ พบได้ทั้งในแหล่งน้ำธรรมชาติและจากการเพาะเลี้ยง ด้วยคุณสมบัติด้านโภชนาการที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเป็นแหล่งของโปรตีนและไขมันดี โดยเฉพาะไขมันไม่อิ่มตัวในกลุ่มโอเมก้า-3 (Omega-3) ซึ่งมี docosahexaenoic acid (DHA) ช่วยในบำรุงจอประสาทตาและเซลล์สมอง [7] อย่างไรก็ตาม ความนิยมในการบริโภคปลาสาวยยังมีข้อจำกัดในผู้บริโภคบางกลุ่มเนื่องจากไม่ชอบกลิ่นของปลาและปริมาณไขมันที่สูง จังหวัดกาฬสินธุ์เป็นจังหวัดที่มีอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาวที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบกระชังและมีปริมาณการจับปลาจากธรรมชาติได้จำนวนมาก ปลาสาวยเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งที่มีการจับได้ปริมาณมากจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว โดยลักษณะเด่นของปลาสาวยที่จับได้จะมีไขมันต่ำ เนื้อสัมผัสแน่น และมีสีชมพูอ่อนอมส้มเล็กน้อย มีรสชาติดีเมื่อนำมาปรุงอาหาร ชาวประมงมักจำหน่ายปลาสาวยสดให้พ่อค้าคนกลางเพื่อกระจายไปยังจังหวัดต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม ราคาปลาสาวยยังค่อนข้างต่ำ (20-25 บาทต่อกิโลกรัม) และยังมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าจากปลาสาวยค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม ด้วยคุณค่าทางโภชนาการประกอบกับสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่ดีของปลาสาวยซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกหนึ่งในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทยืดหยุ่นจากปลาและพบรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเจลโปรตีนปลาสาวยมาก่อนหน้านี้บ้าง เช่น จักรินทร์ ตรีอินทอง และคณะ [8] ได้รายงานสมบัติเจลโปรตีนของเนื้อปลาสาวยบดที่ไม่ผ่านการล้างน้ำ (unwashed mince) มีลักษณะเจลโปรตีนที่อ่อนนุ่มและมีความยืดหยุ่นสูง โดยมีค่าความแข็งแรงเจลเท่ากับ 416 กรัม. เซนติเมตร และสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาสาวยได้โดยมีการเติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 (w/w) เพื่อช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัส [9] ทั้งนี้ การศึกษาการเติมสารเติมแต่งอาหารในลูกชิ้นปลาสาวยเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการยังมีค่อนข้างน้อย

ปลาชิวแก้ว (*Clupeichthys aesanensis*) มีชื่อสามัญว่า Thai river sprat เป็นปลาน้ำจืดที่มีมากในท้องถิ่น มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเป็นแหล่งของโปรตีนและแคลเซียม โดยปลาชิวแก้วสดมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และเกลือร้อยละ 11.88-15.32, 10.00-10.47, 2.68-2.87, 81.69-83.71, และ 0.22-0.99 [10] ขณะที่ปลาชิวแก้วอบแห้ง 100 กรัมให้พลังงานทั้งหมด 432.22 กิโลแคลอรี ไขมัน 22.38 กรัม คอเลสเตอรอล 548.29 มิลลิกรัม โปรตีน 57.40 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 0.30 กรัม เหล็ก 1.883 มิลลิกรัม โยอาหาร 0.21 กรัม เถ้า 11.69 กรัม โซเดียม 252.139 มิลลิกรัม และแคลเซียม 1,941.17 มิลลิกรัม [11] ปลาชิวแก้วนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประมงหลายประเภท เช่น ปลาแห้ง ปลาเจ่า และน้ำปลา เป็นต้น สำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์นั้น พบว่า ปลาชิวแก้วเป็นสัตว์น้ำอันดับต้น ๆ ที่มีปริมาณการจับได้มาก ปัจจุบันมีการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลาชิวแก้วมากขึ้น เช่น ปลาชิวแก้วสามารถอบกรอบ [12] ขนมอบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชิวแก้วตากแห้ง [13] และผลิตภัณฑ์น้ำพริกจากปลาชิวแก้วตากแห้ง [14] เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ดังกล่าวส่วนใหญ่มีการใช้ปลาชิวแก้วในรูปแบบปลาสดและปลาแห้งมาเป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้แนวทางหนึ่งที่จะใช้ประโยชน์จากปลาชิวแก้วซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนและแคลเซียมสูงในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้นคือ การแปรรูปปลาชิวแก้วเป็นผงปลา โดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้ง ซึ่งจะสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น สะดวกต่อการขนส่ง และง่ายต่อการนำมาใช้งานในผลิตภัณฑ์อาหาร ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการใช้ประโยชน์จากปลาชิวแก้วผงในฐานะสารเติมแต่งอาหารในลูกชิ้นปลาสาวยเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและศึกษาผลของปลาชิวแก้วผงต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาสาวย ผลการศึกษาที่เกิดขึ้นจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตลูกชิ้นปลาสาวยในเชิงพาณิชย์และเป็นเพิ่มการใช้ประโยชน์จากปลาชิวแก้วซึ่งเป็นวัตถุดิบในท้องถิ่น รวมทั้งเป็นแนวทางหนึ่งในการส่งเสริมการใช้ปลาน้ำจืดเศรษฐกิจเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของปลาชีวแก๊วตต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลปลาสด และศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาสด
2. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาชีวแก๊วตสูตรที่คัดเลือกได้
3. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางทางจุลชีววิทยาของลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาชีวแก๊วตสูตรที่คัดเลือกได้เปรียบเทียบกับลูกชิ้นปลาสดที่ไม่มีการเติมปลาชีวแก๊วต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมปลาชีวแก๊วต

นำปลาชีวแก๊วต ขนาด 12-15 กรัมต่อตัว ที่ซื้อจากชาวประมง บ้านท่าเรือภูสิงห์ ตำบลภูสิงห์ อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดจำนวน 2 ครั้ง เพื่อขจัดสิ่งสกปรกและเมือกปลา จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำเกลือร้อยละ 0.3 จำนวน 1 ครั้ง ทั้งให้สะอาดดีแล้ว เตรียมปลาชีวแก๊วตโดยดัดแปลงจากวิธีการของสิตาและคณะ [15] นำปลาชีวแก๊วตใส่ในภาชนะเติมน้ำสะอาดในอัตราส่วนปลาชีวแก๊วตต่อน้ำเท่ากับ 1:2 นำไปให้ความร้อนโดยใช้หม้อหนึ่งความดัน ยี่ห้อ Tomy รุ่น SX-500 ประเทศญี่ปุ่น ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นกรองแยกเนื้อปลาออกจากน้ำด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น โดยการบีบน้ำออกจากเนื้อปลาให้มากที่สุด นำเนื้อปลาชีวแก๊วตที่ผ่านการให้ความร้อนมาใส่ถาดถาดละ 250 กรัม นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (รุ่น LT-93 ยี่ห้อ Lecon ประเทศจีน) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง ทั้งให้เย็น จากนั้นบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh เก็บปลาชีวแก๊วตใส่ถุงออลูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิทเพื่อใช้ในการทดลอง โดยปลาชีวแก๊วตที่เตรียมได้มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 5.75, 75.56, 5.80, 10.03 และ 2.85 ตามลำดับ และมีปริมาณแคลเซียม 5,770 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งวิเคราะห์ตามวิธีการของ [16]

2. การเตรียมเนื้อปลาสด

เตรียมเนื้อปลาสดตามวิธีการของ จักรินทร์ ตรีอินทอง และคณะ [9] โดยซื้อปลาสดขนาด 5,000 – 7,000 กรัมต่อตัว ซึ่งเป็นปลาสดธรรมชาติที่จับได้จากอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาวจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปปลาบ้านท่าเรือภูสิงห์ ต.ภูสิงห์ อ.สหัสขันธ์ จ.กาฬสินธุ์ นำมาตัดหัว ควักไส้ และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นแกะเอาเฉพาะกล้ามเนื้อขาวไม่เอาหนังแล้วนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง หั่นเป็นชิ้นแล้วนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ รุ่น MR-1268 ยี่ห้อ Mara ประเทศไทย และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อมาใช้ในการศึกษาต่อไป

3. ศึกษาผลของปลาชีวแก๊วตต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเจลปลาสดและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาสด

เตรียมเจลของลูกชิ้นปลาตามวิธีการของ จักรินทร์ ตรีอินทอง และคณะ [9] โดยนำเนื้อปลาสดบดปั่นผสมกับเกลือร้อยละ 3 (w/w) เป็นเวลา 6 นาที และปรับความชื้นด้วยน้ำแข็งบดโดยให้ความชื้นสุดท้ายเป็นร้อยละ 80 แปรรูปปลาชีวแก๊วตที่เติมเป็นร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 10 ของน้ำหนักเนื้อปลาบด แบ่งเนื้อปลาที่บดผสมแล้วออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 นำไปบรรจุโลหะปลอดสนิมขนาด 25x25 มิลลิเมตร แล้วห่อด้วยแผ่นพลาสติกใสมัดหัวท้ายให้แน่น (เจลปลาสด) ขณะที่ส่วนที่ 2 นำไปขึ้นรูปเป็นลูกชิ้นปลา โดยการขึ้นรูปเป็นลูกชิ้นและเติมส่วนผสมอื่นเข้าไปบดผสมเพื่อเพิ่มรสชาติให้กับผู้ทดสอบชิม ได้แก่ น้ำตาลทรายร้อยละ 3.5 และพริกไทยป่นร้อยละ 1 ของน้ำหนักเนื้อปลา นำตัวอย่างส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และนำไปให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 20

นาที่ (60/90°C) (อุณหภูมิความแปรปรวน ± 1 องศาเซลเซียส) แช่ในน้ำเย็นนาน 10 นาที และเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

4. การวิเคราะห์คุณภาพของเจลปลาสวยและลูกชิ้นปลาสวย

4.1 การวัดค่าความแข็งแรงเจล (gel strength) นำเจลปลาสวยแต่ละตัวอย่างออกจากกระบอกโลหะปลอดสนิม นำไปวัดความแข็งแรงเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA-XT plus ยี่ห้อ Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ โดยใช้หัวกดแบบ spherical 5s ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กดลงไปในตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ 1.1 มิลลิเมตร/วินาที เป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร วัดค่าของแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ (breaking force) (กรัม) และระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ (breaking distance) (มิลลิเมตร) แล้วคำนวณค่าความแข็งแรงเจล (กรัม.เซนติเมตร) จากแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ คูณด้วยระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ ทำทดสอบ 5 ซ้ำต่อตัวอย่าง [17]

4.2 การวัดโครงสร้างทางเนื้อสัมผัส (texture profile analysis; TPA) นำเจลปลาสวยขนาด 25x25 มิลลิเมตรแต่ละตัวอย่างออกจากกระบอกโลหะปลอดสนิม วัด TPA ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น TA-XT plus ยี่ห้อ Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ โดยใช้หัวกดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) กดลงไปในตัวอย่างเป็นระยะทางร้อยละ 60 ของความสูงในรูปแบบของการกดสองครั้ง ด้วยความเร็วคงที่ 2 มิลลิเมตร/วินาที วัดค่าความแข็ง (hardness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) และค่าการเกาะตัว (cohesiveness) ทำการทดสอบ 5 ซ้ำต่อตัวอย่าง [15]

4.3 การวัดค่าความขาว (whiteness) นำเจลปลาสวยแต่ละตัวอย่างออกจากกระบอกโลหะปลอดสนิมไปวัดค่า CIE $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดสีรุ่น Ultra Scan PRO ยี่ห้อ Hunter Lab ประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 5 ซ้ำต่อตัวอย่าง แล้วนำไปคำนวณค่าความขาวตามสูตรของ [18] ดังนี้

$$\text{ความขาว} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{0.5}$$

4.4 การวัดค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% expressible water) ตัดตัวอย่างเจลปลาสวยให้มีขนาด 0.5 x 1.0 x 0.5 เซนติเมตร แล้ววางตัวอย่างระหว่างกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยวางกระดาษกรองด้านล่าง 3 ชั้น ด้านบน 2 ชั้น แล้วใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัม กดทับเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักโดยเครื่องทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วคำนวณค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักโดยใช้สูตร [15]

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = (\text{น้ำหนักเจลโปรตีนก่อนทับ} - \text{น้ำหนักเจลโปรตีนหลังทับ}) / \text{น้ำหนักเจลโปรตีนก่อนทับ} \times 100$$

4.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาสวยที่เติมปลาชีวแก๊วผงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยวิธีทดสอบความชอบ (9-point hedonic scale) ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยคะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน (แบบไม่เจาะจง) ดำเนินการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยเตรียมตัวอย่างลูกชิ้นปลาสวยด้วยการลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบรรจุลูกชิ้นปลาสวยลงในถ้วยพลาสติกใสชนิดมีฝาปิด ถ้วยละ 1 ลูก ก่อนนำมาเสิร์ฟให้ผู้ทดสอบเป็นรายบุคคล การทดสอบดำเนินการภายในห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผู้วิจัยชี้แจงขั้นตอนและวิธีประเมินให้ผู้ทดสอบทราบก่อนเริ่มการทดสอบ จากนั้นจึงเสิร์ฟตัวอย่างลูกชิ้นปลาสวยที่ละลายในลำดับที่สุ่ม เพื่อประเมินความชอบตามแบบประเมินคะแนนที่กำหนด

คัดเลือกสูตรลูกชิ้นปลาสดจำนวน 1 สูตรสำหรับการศึกษาในขั้นตอนต่อไป โดยพิจารณาจากผลการทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสและผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบทั่วไป โดยกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกเป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบรวมของลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแ้วผงสูงที่สุด

5. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

ผลิตลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแ้วผงตามสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 4 จำนวน 1 สูตร นำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน (แบบไม่เจาะจง) โดยสอบถามถึงทัศนคติที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ระดับความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale และการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

6. ศึกษาคุณภาพของลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแ้วผง

ผลิตลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแ้วผงตามสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 4 จำนวน 1 สูตร นำไปวิเคราะห์คุณภาพโดยเปรียบเทียบกับลูกชิ้นปลาสดสูตรควบคุม ดังนี้

6.1 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต [16]

6.2 ค่าความขาว

6.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด [20] ยีสต์และรา [21]

6.4 พลังงานทั้งหมดต่อ 100 กรัม โดยการคำนวณจากสูตร กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 กรัม = (ปริมาณโปรตีนของตัวอย่าง (กรัม) $\times$ 4) + (ปริมาณไขมันของตัวอย่าง (กรัม) $\times$ 9) + (ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (กรัม) $\times$ 4)

6.5 ปริมาณแคลเซียม ตามวิธี [16]

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ในการศึกษาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลปลาสดที่เติมปลาสดแ้วผง และวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) ในการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาสด วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) สำหรับการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค คำนวณเป็นค่าร้อยละในส่วนข้อมูลทั่วไป การยอมรับผลิตภัณฑ์ และการตัดสินใจซื้อ ในส่วนของเหตุผลในการซื้อ/ไม่ซื้อ คำนวณเป็นค่าร้อยละโดยร้อยละของเหตุผลแต่ละข้อคำนวณจากการนำจำนวนคำตอบของเหตุผลนั้นหารด้วยจำนวนคำตอบทั้งหมด แล้วคูณด้วย 100 ส่วนการทดสอบความชอบคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ขณะที่คุณภาพของลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแ้วผงเปรียบเทียบกับลูกชิ้นปลาสดสูตรควบคุม เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของปลาสดแ้วผงต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลปลาสด

การเติมปลาสดแ้วผงส่งผลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ความแข็งแรงเจล และค่าความแข็งของเจลปลาสด อย่างไรก็ตาม การเติมปลาสดแ้วผงไม่ส่งผลต่อค่าระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ ค่าการเกาะตัว และค่าความยืดหยุ่นของเจลปลาสด ($p > 0.05$) ผลการทดสอบการวัดค่าความแข็งแรงเจล (Table 1) พบว่า ค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุของเจลปลาสดตัวอย่างควบคุม (ร้อยละ 0) มีค่ามากที่สุด (247.56 ± 31.14 กรัม) ซึ่งสูงกว่าเจลปลาสดที่มีการเติมปลาสดแ้วผงร้อยละ 1, 3 และ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเติมปลาสดแ้วผงที่ร้อยละ 5 มีค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุไม่แตกต่างจากเจลปลาสดตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) ขณะที่ค่าระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุของเจลปลาสดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่

ทุกระดับการเติมปลาชีวแกว่ง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 11.89 – 13.20 มิลลิเมตร สำหรับค่าความแข็งแรงเจล พบว่า มีแนวโน้มเหมือนกับค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ โดยเจลปลาสดตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมปลาชีวแกว่ง (ร้อยละ 0) มีค่าสูงสุด ขณะที่การเติมปลาชีวแกว่งที่ร้อยละ 1 และร้อยละ 3 ทำให้ค่าความแข็งแรงเจลของปลาสดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่การเติมปลาชีวแกว่งที่ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 มีค่าความแข็งแรงเจลไม่แตกต่างจากเจลปลาสดตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) สำหรับผลการวิเคราะห์ TPA ของเจลปลาสด (Table 2) พบว่า ค่าความแข็งของเจลปลาสดตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงสุด ขณะที่การเติมปลาชีวแกว่งที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5 ทำให้เจลปลาสดมีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่มีค่าความแข็งไม่แตกต่างจากเจลตัวอย่างควบคุมเมื่อเติมปลาชีวแกว่งที่ร้อยละ 10 ($p > 0.05$) สำหรับค่าการเกาะตัวและความยืดหยุ่น พบว่า เจลปลาสดที่มีการเติมปลาชีวแกว่งทุกระดับความเข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยค่าการเกาะตัวมีค่าระหว่าง 0.788 – 0.819 และค่าความยืดหยุ่นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.674 – 0.751 ผลการทดสอบ TPA มีผลไปในทิศทางเดียวกับวิธีการวัดค่าความแข็งแรงเจล

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเติมปลาชีวแกว่งซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นโปรตีน (ร้อยละ 75.56) และมีธาตุแคลเซียมในปริมาณสูง (5,770 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) มีผลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลปลาสดแตกต่างกันตามระดับการเติม โดยการเติมปลาชีวแกว่งทำให้เจลมีแนวโน้มค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ความแข็งแรงเจล และความแข็งลดลง ผลการทดลองที่ได้ตรงกันข้ามกับรายงานของ Somjit et al. [21] ที่รายงานการใช้ soy protein isolate (โปรตีนจากพืช) และผงจิ้งหรีด (cricket powder) (โปรตีนจากสัตว์) ในการปรับปรุงคุณภาพของเจลโปรตีนจากซูริมิปลา Indian mackerel ซึ่งเป็นปลาเนื้อดำ โดยโปรตีนทั้งสองประเภทช่วยปรับปรุงคุณลักษณะของเจลซูริมิปลาและมีศักยภาพในการเป็นส่วนผสมเชิงหน้าที่และเชิงโภชนาการในการผลิตซูริมิจากปลาเนื้อดำได้ ทั้งนี้ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากชนิดของโปรตีนและองค์ประกอบภายในของโปรตีนที่ต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบของโปรตีนมีผลต่อการเกิดพันธะชนิดต่าง ๆ ในการสร้างโครงข่ายเจลโปรตีน [2] และปริมาณของสารเติมแต่งประเภทโปรตีนที่เติมลงไปในเจลโปรตีนต้องมีความเหมาะสม จากผลการทดลองสามารถตั้งข้อสังเกตได้ว่า การเติมปลาชีวแกว่งตั้งแต่ร้อยละ 1 ขึ้นไป มีผลต่อการลดลงของค่าความแข็งแรงเจลและค่าความแข็งของเจลปลาสด จากผลการทดลองที่ค่าความแข็งแรงเจลลดลงตั้งแต่การเติมปลาชีวแกว่งร้อยละ 1 จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตว่า การเติมปลาชีวแกว่งในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 1 (เช่น ร้อยละ 0.25 หรือ 0.50) จะส่งผลต่อสมบัติของเจลอย่างไร สำหรับการลดลงของค่าดังกล่าวของเจลปลาสดอาจเนื่องจากอนุภาคปลาชีวแกว่งทำหน้าที่เป็นสาร functional filler ภายในโครงข่ายโปรตีน ทำให้การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลโปรตีนลดลง และโครงข่ายเจลถูกขัดขวางและขาดความสมบูรณ์ ส่งผลให้เจลมีความแข็งแรงน้อยลง [22, 23] ในขณะที่การเติมปลาชีวแกว่งในระดับความเข้มข้นสูงขึ้น (ร้อยละ 10) พบว่า ค่าความแข็งแรงเจลและความแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นได้ว่าเกิดจากแคลเซียมและแร่ธาตุอื่น ๆ ในผงปลาชีวแกว่งทำหน้าที่เป็น cross-linking agent ช่วยเสริมการเชื่อมโยงของโครงข่ายโปรตีน [24, 25] และอนุภาคปลาชีวแกว่งซึ่งเป็นผงแห้งอาจดูดซับน้ำจากระบบเมทริกซ์เจล (matrix gel) ทำให้โครงข่ายโปรตีนรอบ ๆ อนุภาคมีความหนาแน่นมากขึ้น (matrix tightening) ส่งผลให้เจลมีความแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามการเติมปลาชีวแกว่งในระดับร้อยละ 10 ส่งผลให้ค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุของเจลปลาสดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ($p < 0.05$) โดยค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุเป็นตัวบ่งชี้ความแข็งแรงของโครงข่ายเจลโปรตีนภายในผลิตภัณฑ์ ดังนั้น การลดลงของค่าดังกล่าวอาจเกิดจากการที่ปลาชีวแกว่งในปริมาณสูงมีส่วนขัดขวางการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลโปรตีน ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญของการพัฒนาโครงข่ายเจล ทำให้โครงข่ายเจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง ในขณะที่ค่าความแข็งแรงเจลไม่พบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากค่าความแข็งแรงเจลเป็นค่าที่คำนวณจากผลคูณระหว่างแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุและระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนทั้งความต้านทานต่อแรงกดและระยะการเสียรูปของเจลก่อนที่โครงข่ายจะถูกทำลาย ด้วยเหตุนี้ แม้ค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุจะมีค่าลดลง

แต่ระยะทางที่หัววัดตกก่อนทะลุไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเจลโดยรวมไม่แสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ สำหรับสมบัติเชิงหน้าที่ของสารเติมแต่งประเภทโปรตีนที่มีการเติมในเจลโปรตีนจะเกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ได้แก่ อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำ อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และอันตรกิริยาระหว่างโปรตีน-ไขมัน-น้ำ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเติมแต่งประเภทโปรตีนที่เติมลงไป ซึ่งมีผลต่อความเสถียรของโครงข่ายเจลโปรตีน โดยสารเติมแต่งประเภทโปรตีนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ functional binder และ functional filler ซึ่ง functional binder จะช่วยเพิ่มค่าความเค้นเฉือนและความเครียดเฉือนของเจลซูริมิ ขณะที่ functional filler จะเพิ่มค่าความเค้นเฉือนแต่ลดค่าความเครียดเฉือน [4] สำหรับค่าระยะทางที่หัววัดตกก่อนทะลุ ค่าการเกาะตัว และค่าความยืดหยุ่น มีค่าไม่แตกต่างกันในทุกระดับการเติมปลาชิวแก้วผง ซึ่งสะท้อนว่าโครงสร้างเจลโปรตีนของปลาสาวยังคงรักษาการเกาะตัวและความยืดหยุ่นได้ในระดับใกล้เคียงกัน แม้ว่าการเติมปลาชิวแก้วผงจะส่งผลต่อความแข็งแรงของเจลและความแข็งก็ตาม โดยผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ปลาชิวแก้วผงมีผลกระทบต่อความหนาแน่นของโครงข่ายโปรตีนมากกว่าความสามารถในการยืดหยุ่นของเจล

Table 1 Breaking force, breaking distance and gel strength of striped catfish gel added with different concentrations of Thai river sprat fish powder

Percentage of Thai river sprat fish powder (w/w)	Breaking force (g)	Breaking distance (mm) ^{ns}	Gel strength (g.cm)
0	247.56 ± 31.14 ^a	13.20 ± 0.63	328.20 ± 55.79 ^a
1	183.38 ± 29.84 ^b	11.89 ± 1.62	221.79 ± 64.25 ^b
3	184.50 ± 4.59 ^b	12.56 ± 0.53	231.99 ± 15.00 ^b
5	220.59 ± 22.29 ^{ab}	12.88 ± 0.81	285.59 ± 46.61 ^{ab}
10	206.09 ± 17.21 ^b	12.76 ± 1.12	262.53 ± 25.71 ^{ab}

^{ns} Mean in the same column are not significantly different (p>0.05)

^{a-b} Mean in the same column with different letters are significantly different (p<0.05)

Table 2 Hardness, cohesiveness and springiness of striped catfish gel added with different concentrations of Thai river sprat fish powder

Percentage of Thai river sprat fish powder (w/w)	Hardness (g)	Cohesiveness ^{ns}	Springiness ^{ns}
0	857.82±74.46 ^a	0.819±0.062	0.711±0.104
1	708.15±55.23 ^b	0.815±0.019	0.726±0.060
3	672.65±68.77 ^b	0.801±0.020	0.751±0.042
5	742.18±26.41 ^b	0.813±0.014	0.674±0.040
10	836.16±43.49 ^a	0.788±0.005	0.708±0.013

^{ns} Mean in the same column are not significantly different (p>0.05).

^{a-b} Mean in the same column with different letters are significantly different (p<0.05)

2. ผลของปลาฉี่แก้วนึ่งค่าความขาวและค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเจลปลาสรวย

ผลการทดสอบค่าความขาวและค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเจลปลาสรวย (Table 3) พบว่า ค่าความขาวของเจลปลาสรวยตัวอย่างควบคุม (ร้อยละ 0) มีค่าสูงสุด (75.92 ± 1.06) และมีค่าความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระดับการเติมปลาฉี่แก้วนึ่ง ($p < 0.05$) (Figure 1) โดยเจลที่มีการเติมปลาฉี่แก้วนึ่งร้อยละ 10 มีค่าความขาวต่ำสุด (61.06 ± 2.77) ขณะที่ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักซึ่งแสดงถึงปริมาณน้ำที่สามารถบีบออกจากเนื้อเจลปลาได้ พบว่า เจลปลาสรวยตัวอย่างควบคุมมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด (ร้อยละ 16.23 ± 1.99) ในขณะที่การเติมปลาฉี่แก้วนึ่งที่ร้อยละ 1, 3 และ 5 ทำให้เจลมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าประมาณร้อยละ 24.51–27.88 ซึ่งแสดงถึงการเก็บกักน้ำไว้ในโครงข่ายเจลโปรตีนได้น้อยลง ส่วนการเติมร้อยละ 10 มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างจากเจลปลาสรวยตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเติมปลาฉี่แก้วนึ่งส่งผลให้ค่าความขาวของเจลปลาสรวยลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณปลาฉี่แก้วนึ่งที่สูงขึ้น ทั้งนี้เกิดจากสีธรรมชาติของปลาฉี่แก้วนึ่งที่มีสีเทาอมขาวเมื่อเติมในเนื้อเจลปลาสรวยซึ่งมีสีขาวกว่าจึงทำให้สีของเจลปลาสรวยเปลี่ยนไปส่งผลให้ความขาวลดลง นอกจากนี้การกระจายตัวของปลาฉี่แก้วนึ่งในเนื้อเจลโปรตีนอาจทำให้เกิดการกระเจิงแสงแตกต่างจากเจลที่ไม่มีการเติมปลาฉี่แก้วนึ่ง ทำให้ค่าความขาวโดยรวมลดลงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานในงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่า การเติมสารเติมแต่งอาหารที่มีสีเข้มกว่าจะลดความขาวของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนได้ [26] โดยการเติมสารเติมแต่งประเภทโปรตีนมีผลต่อค่าสีของเจลซูริมิ โดยจะลดค่า L^* เล็กน้อย และเพิ่มค่า b^* ของเจลให้สูงขึ้น [4] สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการเติม soy protein isolate และผงจิ้งหรีดในเจลซูริมิจากปลา Indian mackerel ซึ่งมีความขาวลดลงตามปริมาณการเติมที่สูงขึ้น [21] ส่วนค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหรือ ปริมาณน้ำที่สามารถบีบออกจากเจลปลาได้ พบว่า การเติมปลาฉี่แก้วนึ่งในระดับร้อยละ 1, 3, และ 5 ทำให้ค่านี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงว่า เจลปลาสรวยมีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงข่ายเจลได้ต่ำลง ทำให้น้ำในเจลปลาถูกขับออกได้ง่ายขึ้นเมื่อถูกกดทับด้วยลูกตุ้มน้ำหนัก ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่ถูกบีบออกมาจากเจลที่มากขึ้นอาจเกิดจากการรบกวนโครงข่ายเจลโปรตีนและลดความหนาแน่นของเนื้อเจลจากปลาฉี่แก้วนึ่ง ส่งผลให้โครงข่ายเจลโปรตีนเกิดความเสียหายหรือไม่สมบูรณ์พอที่จะกักเก็บน้ำไว้ได้ดี สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่เจลปลาสรวยมีความแข็งแรงเจลลดลงเมื่อเติมปลาฉี่แก้วนึ่งที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะที่ระดับการเติมปลาฉี่แก้วนึ่งที่ร้อยละ 10 มีค่า ร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักลดลงเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากความหนาแน่นของปลาฉี่แก้วนึ่งที่ระดับสูงขึ้นเกิดการดูดซับน้ำจากระบบเมทริกซ์เจลและช่วยเสริมความแน่นของเนื้อเจล ส่งผลให้น้ำถูกกักเก็บได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่น ๆ

Table 3 Whiteness and expressible water of striped catfish gel added with different concentrations of Thai river sprat fish powder

Percentage of Thai river sprat fish powder (w/w)	Whiteness	Expressible water (%)
0	75.92 ± 1.06^a	16.23 ± 1.99^b
1	73.54 ± 1.00^b	27.80 ± 2.95^a
3	70.98 ± 0.88^c	27.88 ± 6.57^a
5	69.16 ± 0.53^d	24.51 ± 4.22^a
10	61.06 ± 2.77^e	20.30 ± 2.45^{ab}

^{a-e} Mean in the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$)

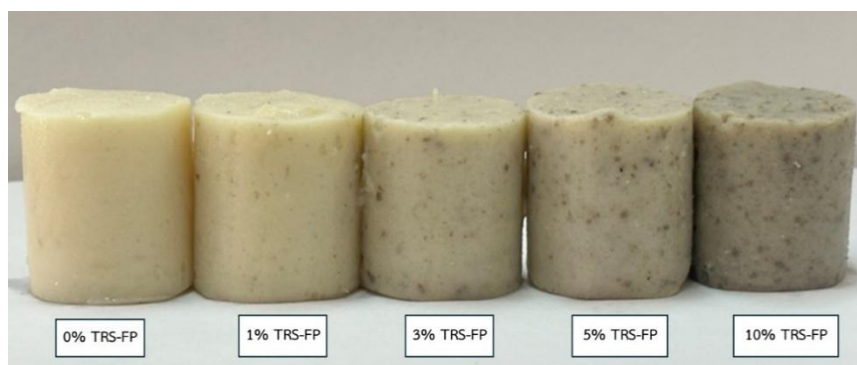


Figure 1 Striped catfish gel added Thai river sprat fish powder (TRS-FP) at different concentrations

3. ผลของปลาชีวแก๊วงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาสวาย

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาสวายที่เติมปลาชีวแก๊วงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (Table 4) พบว่า การเติมปลาชีวแก๊วงที่ร้อยละ 1 ทำให้ลูกชิ้นปลาสวายมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สีและความชอบรวมไม่แตกต่างจากลูกชิ้นปลาสวายควบคุม (ร้อยละ 0) ($p>0.05$) โดยมีคะแนนความชอบอยู่ที่ระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ขณะที่การเติมปลาชีวแก๊วงที่ร้อยละ 3, 5 และ 10 ลูกชิ้นปลามีคะแนนความชอบในทุกลักษณะลดลงตามปริมาณปลาชีวแก๊วงที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผู้ทดสอบได้ให้ความเห็นว่า ลูกชิ้นปลาสวายที่มีการเติมปลาชีวแก๊วงที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น เมื่อรับประทานเข้าไปผู้ทดสอบสามารถรับรู้ความรู้สึกภายในปากเหมือนมีเม็ดทรายเล็ก ๆ แทรกกระจายอยู่ภายในเนื้อลูกชิ้นปลา โดยเฉพาะลูกชิ้นปลาที่มีการเติมปลาชีวแก๊วงตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป ส่งผลให้คะแนนความชอบลดลง ทั้งนี้ความรู้สึกภายในปากของผู้ทดสอบชิมที่เหมือนมีเม็ดทรายเล็ก ๆ นั้น เกิดจากผงกระดูกของปลาชีวแก๊วงซึ่งเป็นองค์ประกอบของปลาชีวแก๊วง ทั้งนี้เนื่องจากปลาชีวแก๊วงที่ใช้ในการทดลองนี้เตรียมจากปลาชีวแก๊วสดแบบทั้งตัวซึ่งเป็นปลาขนาดเล็กเมื่อนำมาเตรียมผงปลาโดยการให้ความร้อนสูงร่วมกับความดัน จากนั้นผ่านการบดละเอียดและร่อนด้วยตะแกรง 80 mesh จนมีลักษณะเป็นผงละเอียดแล้วก็ตาม แต่กระดูกปลาซึ่งมีลักษณะเป็นโครงสร้างแข็งเมื่อนำมาผสมในลูกชิ้นปลาซึ่งมีโครงสร้างเป็นเจลโปรตีนจึงอาจไปแทรกอยู่ในเจลโปรตีน ส่งผลให้ผู้ทดสอบยังสามารถรับรู้ความรู้สึกในปากได้เมื่อใช้ปริมาณเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสและคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า การเติมปลาชีวแก๊วงที่ร้อยละ 10 ถึงแม้ว่าจะมีค่าความแข็งแรงเจลและความแข็งไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ร้อยละ 0) แต่มีค่าความขาวและคะแนนความชอบรวมต่ำที่สุด ขณะที่การเติมปลาชีวแก๊วงที่ร้อยละ 1 เจลปลาสวายมีค่าความแข็งแรงเจลและความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม แต่มีค่าการเกาะตัวและความยืดหยุ่นไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ขณะที่คะแนนความชอบรวมของลูกชิ้นปลามีค่าสูงสุด ดังนั้น จึงคัดเลือกลูกชิ้นปลาที่มีการเติมปลาชีวแก๊วงร้อยละ 1 เพื่อใช้ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

Table 4 Sensory characteristics of fish ball prepared from striped catfish mince added with different concentrations of Thai river sprat fish powder

Attributes	Percentage of Thai river sprat fish powder (w/w)				
	0%	1%	3%	5%	10%
Appearance	8.00±1.20 ^a	7.75±1.04 ^a	7.23±1.13 ^b	6.87±1.33 ^b	6.36±1.49 ^c
Color	8.03±0.99 ^a	7.60±1.35 ^a	7.00±1.33 ^b	6.57±1.61 ^b	5.76±1.65 ^c
Odor	7.50±1.43 ^a	7.03±1.27 ^{ab}	6.53±1.57 ^b	5.73±1.82 ^c	5.40±1.89 ^c
Taste	7.93±0.98 ^a	7.47±1.43 ^{ab}	7.00±1.66 ^b	6.10±1.98 ^c	5.37±2.04 ^d
Texture	8.07±0.98 ^a	7.53±1.43 ^{ab}	6.93±1.41 ^b	5.97±2.01 ^c	4.93±2.27 ^d
Overall liking	8.07±1.08 ^a	7.76±1.10 ^a	6.93±1.26 ^b	6.03±1.71 ^c	5.10±1.86 ^d

^{a-d} Mean in the same row with different letters are significantly different (p<0.05)

4. ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อลูกชิ้นปลาสาวยที่เติมปลาชิวแก้วผงร้อยละ 1 (Figure 2) จำนวน 100 คน แสดงผลดัง Table 5 พบว่า ผู้ทดสอบเป็นเพศหญิงและเพศชายคิดเป็นร้อยละ 53 และ 47 ตามลำดับ ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอายุ 20-30 ปี (ร้อยละ 52) รองลงมาคือกลุ่มผู้บริโภคอายุ 41-50 ปี (ร้อยละ 21) กลุ่มอายุ 31-40 ปี (ร้อยละ 14) กลุ่มอายุต่ำกว่า 20 ปี (ร้อยละ 9) และกลุ่มอายุมากกว่า 50 ปี (ร้อยละ 4) ตามลำดับ โดยร้อยละ 66 มีการศึกษาอยู่ที่ระดับปริญญาตรี รองลงมาคือสูงกว่าระดับปริญญาตรีร้อยละ 21 ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มนักเรียน/นักศึกษาร้อยละ 48 รองลงมาได้แก่ อาชีพรับราชการ/รัฐวิสาหกิจ (ร้อยละ 28) ผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือนน้อยกว่า 5,000 บาท (ร้อยละ 38) รองลงมาคือ มีรายได้ต่อเดือนมากกว่า 20,000 บาท (ร้อยละ 26) 10,001-20,000 บาท (ร้อยละ 20) และ 5,001 – 10,000 บาท (ร้อยละ 16) ซึ่งรายได้ต่อเดือนสอดคล้องกับอาชีพของผู้ทดสอบ สำหรับผลการทดสอบความชอบ (Table 6) พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมอยู่ที่ระดับชอบปานกลาง (7.04 - 7.54 คะแนน) ขณะที่คะแนนความชอบด้านกลิ่นอยู่ที่ระดับชอบเล็กน้อย (6.37 คะแนน) ซึ่งสอดคล้องกับผลการสำรวจเหตุผลที่ไม่ตัดสินใจซื้อ ซึ่งพบว่า กลิ่นคาว เป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคกลุ่มดังกล่าวคำนึงถึง (ร้อยละ 36) การยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบ (Table 7) พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 91 และตัดสินใจซื้อร้อยละ 80 สำหรับเหตุผลในการตัดสินใจซื้อและไม่ซื้อซึ่งทำการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปของค่าร้อยละ โดยร้อยละของเหตุผลแต่ละข้อคำนวณจากการนำจำนวนคำตอบของเหตุผลนั้นหารด้วยจำนวนคำตอบทั้งหมดแล้วคูณด้วย 100 พบว่า เหตุผลในการตัดสินใจซื้อเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ รสชาติอร่อย อยากทดลองบริโภคผลิตภัณฑ์ มีความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีต่อสุขภาพ และสะดวกต่อการบริโภค คิดเป็นร้อยละ 26.47 20.59 20.59 17.06 และ 15.29 ตามลำดับ

Table 5 General information of 100 respondents in the survey on consumer attitudes and preferences toward striped catfish fish ball added 1% (w/w) of Thai river sprat fish powder

General information		Percentage
Gender	Male	47
	Female	53
Age	< 20 years	9

General information		Percentage
	20-30 years	52
	31-40 years	14
	41-50 years	21
	>50 years	4
Education level	Primary school – Secondary school	6
	Diploma / Vocational Certificate	7
	Bachelor's degree	66
	Higher than bachelor's degree	21
Occupation	Student/ Undergraduate student	48
	Civil servant / State enterprise employee	28
	Private company employee	1
	Business owner / Self-employed	10
	Others (e.g., Research Assistant, Homemaker)	13
Monthly income	Less than 5,000 Baht	38
	5,001-10,000 Baht	16
	10,001-20,000 Baht	20
	More than 20,000 Baht	26

Table 6 Consumer preference scores of striped catfish fish ball added 1% (w/w) of Thai river sprat fish powder (n = 100)

Attributes	Average ± standard deviation
Appearance	7.54 ± 1.47
Color	7.47 ± 1.59
Odor	6.37 ± 1.94
Taste	7.04 ± 1.84
Texture	7.32 ± 1.91
Overall liking	7.04 ± 1.84

Table 7 Consumer acceptance and purchase decision of the product with reasons (n = 100)

Factor	Percentage
Product acceptance	
Accept	91
Not accept	9
Purchase decision	
In the case of purchase	80
Because they wanted to try the product *	20.59
Easy to consume *	15.29
Nutritious and beneficial for health *	17.06
Novelty of the product *	20.59
Delicious taste *	26.47
In the case of not purchasing	20
Because they disliked the appearance of the product	4
Unfamiliar with the product *	12
Unpleasant taste*	44
Fishy odor *	36
Unpleasant texture *	4

* Percentage is calculated by dividing the number of responses for a specific reason by the total number of responses, multiplied by 100



Figure 2 Striped catfish fish ball added 1% (w/w) of Thai river sprat fish powder for consumer test

5. คุณภาพของลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแกว้งร้อยละ 1

คุณภาพของลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแกว้งร้อยละ 1 (Table 8) พบว่า ลูกชิ้นปลาสดมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 81.32, 13.90, 0.25, 1.40 และ 2.13 ตามลำดับ ลูกชิ้นปลาสด 100 กรัม มีพลังงานทั้งหมด 66 กิโลแคลอรี และแคลเซียม 121 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สำหรับค่าความขาว มีค่า 73.54 และปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 3.41×10^2 CFU/g เมื่อเปรียบเทียบกับลูกชิ้นปลาสดตัวอย่างควบคุม พบว่า การเติมปลาสดแกว้ง ร้อยละ 1 ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน ไขมัน พลังงาน และแคลเซียมของลูกชิ้นปลาสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ส่งผลให้ ความชื้น คาร์โบไฮเดรต เถ้า และความขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นไปตามเกณฑ์ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ลูกชิ้นปลา (มพข. 328/2547) ซึ่งกำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 CFU/g [27] ดังนั้น ลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแกว้งร้อยละ 1 จึงเป็นแหล่งของโปรตีนและแร่ธาตุ โดยเฉพาะแคลเซียม มีไขมันต่ำ และ มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

Table 8 Quality of striped catfish fish ball added 1% (w/w) of Thai river sprat fish powder

Nutrition values and quality	Average $\pm$ standard deviation	
	Striped catfish fish ball (0% Thai river sprat fish powder)	Striped catfish fish ball added 1% Thai river sprat fish powder
Moisture (%)	81.72 ^a $\pm$ 0.02	81.32 ^b $\pm$ 0.03
Protein (%)	13.28 ^b $\pm$ 0.03	13.90 ^a $\pm$ 0.02
Fat (%)	0.14 ^b $\pm$ 0.00	0.25 ^a $\pm$ 0.00
Ash (%)	1.42 ^a $\pm$ 0.01	1.40 ^b $\pm$ 0.02
Carbohydrate (%)	2.46 ^a $\pm$ 0.02	2.13 ^b $\pm$ 0.03
Total Energy (kcal/100 g)	64 ^b	66 ^a
Calcium (mg/100g)	32.67 ^b $\pm$ 0.58	121 ^a $\pm$ 1.00
Whiteness	82.24 ^a $\pm$ 0.45	73.54 ^b $\pm$ 1.00
Total Plate Count (CFU/g)	3.57×10^2	3.41×10^2

สรุปผล

การเติมปลาสดแกว้งมีผลโดยตรงต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลปลาสด โดยค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ความ แข็งแรงเจล ความแข็ง ความขาว และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีค่าลดลงตามระดับการเติมปลาสดแกว้ง แต่ไม่มีผลต่อค่า ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ การเกาะตัว และค่าความยืดหยุ่นของเจล ($p > 0.05$) ในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแกว้งร้อยละ 1 มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และคะแนนความชอบรวมไม่แตกต่าง จากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) และเป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบรวมสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ ดังนั้น จึงคัดเลือกสูตรที่ มีการเติมปลาสดแกว้งร้อยละ 1 สำหรับการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า ลูกชิ้นปลาสดสูตรดังกล่าวมีคะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 7.04 คะแนน) มีการ ยอมรับร้อยละ 91 และมีการตัดสินใจซื้อร้อยละ 80 ในด้านคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า ลูกชิ้นปลาสดที่เติมปลาสดแกว้ง ร้อยละ 1 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน พลังงาน และแคลเซียมสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้น การ

เติมปลาชีวแก้วนึ่งร้อยละ 1 ในลูกชิ้นปลาสาวยจึงเป็นสูตรที่มีความเหมาะสมเนื่องจากการยอมรับจากผู้บริโภคและมีคุณค่าทางโภชนาการที่เพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร และ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำการทดลองครั้งนี้ “งานวิจัยเรื่องนี้ ได้รับการสนับสนุนจากกองทุน ส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ พ.ศ. 2568”

เอกสารอ้างอิง

- 1 Suzuki T. Fish and krill protein processing technology. London: Applied Science Publishers; 1981.
- 2 Sun XD, Holley RA. Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2011; 10(1): 33–51.
- 3 Martín-Sánchez AM, Navarro C, Pérez-Álvarez JA, Kuri V. Alternatives for efficient and sustainable production of surimi: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2009; 8(4): 359-74.
- 4 Park JW, editor. Surimi and surimi seafood. Marcel Dekker, Inc.; 2000.
- 5 Buamard N, Singh A, Benjakul S. Improvement of Surimi Gel Quality Using Protein Cross-Linker, Hydrocolloids and Protease Inhibitor. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2024; 24(3): TRJFAS24808. doi: 10.4194/TRJFAS24808
- 6 Wijayanti I, Singh A, Benjakul S, Sookchoo P. Textural, sensory, and chemical characteristic of threadfin bream (*Nemipterus* sp.) surimi gel fortified with bio-calcium from bone of Asian sea bass (*Lates calcarifer*). *Foods*. 2021; 10(5):976. doi:10.3390/foods10050976.
- 7 โรงพยาบาลราชวิถี. ปลาสาวย โอเมก้า 3 สูง เมนูทางเลือกคนไทย. [อินเทอร์เน็ต]. 2559 [เข้าถึง 5 มี.ค. 2568]. Available from: <https://www.rajavithi.go.th/rj/?p=2075>
- 8 จักรินทร์ ตรีอินทอง, วณัฐวิน ภูขมร, ศิวาพร สีดาบุตร. ผลของสภาวะการล้างและการให้ความร้อนต่อสมบัติเจลของปลาสาวย. *แก่นเกษตร*. 2562; 47(พิเศษ 1): 1265–1272.
- 9 จักรินทร์ ตรีอินทอง, ฤทธิ์ชัย คำโสง, วณัฐวิน ภูขมร. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาสาวย. *แก่นเกษตร*. 2562; 47(พิเศษ 2): 461–466.
- 10 อรรพรรณ คงพันธุ์, วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ. การผลิตน้ำปลาจากปลาน้ำจืด. *เอกสารวิชาการกรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์*. 2552; (2): 1–70.
- 11 รัชดา อูยยืนยงค์, กิตติวัช บุญทวี, ขนิษฐา หวังดี. การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วนึ่งในบรรจุภัณฑ์เติมก๊าซไนโตรเจนโดยสภาวะเร่ง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*. 2566; 18(1): 10–20. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/JFTSU/article/view/257423/176260>
- 12 กิตติพร สุพรรณผิว, กิตติวัช บุญทวี. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาชีวแก้วนึ่งสามารถทดสอบกรอบ. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*. 2566; 18(2): 63–73. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/uruj/article/view/250721/171707>

- 13 จักรินทร์ ตริอินทอง, อ้อยทิพย์ สมานรส, ปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งเสริมปลาชีวแก้วตากแห้ง. วารสารเกษตรพระวรุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 2567; 21(1): 96–105.
<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/article/view/262872/178325>
- 14 จักรินทร์ ตริอินทอง, วุฒิ รัตนวิชัย. นวัตกรรมผลิตภัณฑ์น้ำพริกจากปลาชีวแก้วตากแห้ง [รายงานการวิจัย]. มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์; 2564.
- 15 สิตา เบญจไพบงษ์, นิชกานต์ พุทธิเสาวภาคย์, ภัทริรา สุดเลิศ, วรางคณา สมพงษ์. การผลิตลูกชิ้นปลาเสริมผงกระดุกจากปลาแซลมอน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วท.). 2564; 29(4): 561–571. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/224288/172852>
- 16 Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official method of analysis. 20th ed. Washington, DC: AOAC; 2016.
- 17 Marine Fisheries Research Department (MFRD). Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products. Singapore: SEAFDEC; 1987.
- 18 Lanier TC. Measurement of surimi composition and functional properties. In: Lanier TC, Lee CM, editors. Surimi technology. New York: Marcel Dekker; 1992. p. 123–163.
- 19 Andrews W. Manual of food quality control. 4. rev. 1: microbiological analysis. Rome: FAO Food and Nutrition Paper (FAO); 1992.
- 20 Bacteriological Analytical Manual (BAM). Yeast, molds and mycotoxins [Internet]. 2001. Available from: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins>
- 21 Somjid P, Panpipat W, Cheong LZ, Chaijan M. Comparative effect of cricket protein powder and soy protein isolate on gel properties of Indian mackerel surimi. Foods. 2022;11(21):3445. doi:10.3390/foods11213445
- 22 Benjakul S, Visessanguan W. Transglutaminase induced cross-linking in fish muscle proteins and its impact on gelation. Food Chemistry. 2003; 83(4): 493–500.
- 23 Rawdkuen S, Benjakul S. Whey protein concentrate: Autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish. Food Chemistry. 2008;106(3):1077–1084. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814607007133>
- 24 Lanier TC. Surimi gelation chemistry. In: Surimi and surimi seafood. Marcel Dekker; 2000. p. 237–265.
- 25 Park JW. Surimi and surimi seafood. 2nd ed. CRC Press; 2014.
- 26 Karthikeyan R, Suresh PV, Muralidharan S. Influence of natural colorants on color and texture properties of surimi-based products. Journal of Food Processing and Preservation. 2017; 41(6): e13233. doi:10.1111/jfpp.13233
- 27 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ลูกชิ้นปลา (มผช. 328/2547). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม; 2547.