บทความวิจัย (Research Article)

ผลของอัตราส่วนเนื้อปลาสวายและปลานิลต่อคุณภาพลูกชิ้นปลา

Effects of Striped Catfish and Nile Tilapia Mince Ratios on Fish Ball Quality

จักรินทร์ ตรีอินทอง[1*] และ ปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์[2]
Jukkarin Treeinthong[1*] and Piyachat Wiriyaampaiwong[2]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[1]Department of Fishery Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[2]Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University
*Corresponding author; email: jukkarin.tr@ksu.ac.th

วันที่รับบทความ (Received)	วันที่ได้รับบทความฉบับแก้ไข (Revised)	วันที่ตอบรับบทความ (Accepted)
19 กันยายน 2568	2 กุมภาพันธ์ 2569	9 กุมภาพันธ์ 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของอัตราส่วนเนื้อปลาสวายบดไม่ล้างน้ำ (unwashed striped catfish mince; UW-SC) และเนื้อปลานิลบดล้างน้ำ (washed Nile tilapia mince; W-NT) ต่อสมบัติของเจลปลาผสมและคุณภาพของลูกชิ้นปลา โดยการแปรอัตราส่วนเป็นร้อยละ 25:75, 50:50 และ 75:25 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 20 นาที ตามด้วย 90 °C นาน 20 นาที (40/90°C) และ 60 °C นาน 20 นาที ตามด้วย 90 °C นาน 20 นาที (60/90°C) เปรียบเทียบกับเจลปลานิลที่ 40/90°C (0:100) และเจลปลาสวายที่ 60/90°C (100:0) จากนั้นคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อใช้ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค (100 คน) และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการศึกษาพบว่า การผสม UW-SC ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปส่งผลให้เจลปลาผสมมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ขณะที่เจลปลาผสมอัตราส่วน 25:75 (40/90°C) และ 75:25 (60/90°C) มีความแข็งแรงเจลสูงที่สุด ($p<0.05$) การเพิ่มปริมาณ UW-SC มีแนวโน้มทำให้ค่าการเกาะตัว ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ ความขาว และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตามจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ลูกชิ้นปลาผสมทุกสูตรได้รับคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลาง โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวม จึงได้คัดเลือกสูตรอัตราส่วน 75:25 (UW-SC:W-NT) ที่ผ่านการให้ความร้อนสภาวะ 60/90 °C เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดเพื่อไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน โดยผลการทดสอบ พบว่า ลูกชิ้นปลาผสมมีการยอมรับร้อยละ 92 และการตัดสินใจซื้อร้อยละ 79 ในด้านคุณค่าทางโภชนาการมีโปรตีนร้อยละ 14.81 แต่มีไขมัน คอเลสเตอรอล และโซเดียมต่ำ อีกทั้งมีความปลอดภัยต่อการบริโภค ดังนั้นการผสมเนื้อปลาสวายและปลานิลด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางสำหรับการผลิตลูกชิ้นปลาที่มีคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

คำสำคัญ: ลูกชิ้นปลา, ปลาสวาย, ปลานิล, สมบัติเจล, การยอมรับของผู้บริโภค

Abstract

This research aimed to evaluate the effects of different ratios of unwashed striped catfish mince (UW-SC) and washed Nile tilapia mince (W-NT) on the gel properties of mixed fish gels and the quality of fish balls. The mince ratios were varied at 25:75, 50:50, and 75:25 (UW-SC:W-NT) and subjected to two heating conditions: heating at 40 °C for 20 min followed by 90 °C for 20 min (40/90 °C), and heating at 60 °C for 20 min followed by 90 °C for 20 min (60/90 °C). These treatments were compared with Nile tilapia gel heated at 40/90 °C (0:100) and striped catfish gel heated at 60/90 °C (100:0). Subsequently, the optimal formulation was selected for consumer acceptance testing (100 panelists) and nutritional value analysis. The results indicated that the incorporation of UW-SC at levels of 50% or higher significantly increased hardness of mixed fish gels ($p < 0.05$). The mixed fish gels at ratios of 25:75 (40/90 °C) and 75:25 (60/90 °C) exhibited the highest gel strength ($p < 0.05$). Increasing the proportion of UW-SC tended to decrease cohesiveness, breaking distance, whiteness, and expressible water. However, sensory evaluation revealed that all mixed fish ball formulations received moderate overall liking scores, with no significant differences among treatments ($p>0.05$). Based on textural properties, taste, and overall liking, the formulation with a 75:25 ratio of UW-SC:W-NT subjected to the 60/90 °C heating condition was selected as the most suitable for consumer acceptance testing with 100 panelists. Consumer acceptance testing demonstrated an acceptance rate of 92% and a purchase decision of 79%. Nutritional analysis showed that mixed fish balls contain 14.81% protein, with low fat, cholesterol, and sodium contents, and was safe for consumption. Therefore, blending striped catfish mince and Nile tilapia mince at an appropriate ratio represents a promising approach for producing fish balls with desirable textural quality and high consumer acceptance.

Keywords: fish ball, striped catfish, Nile tilapia, gel properties, consumer acceptance

บทนำ

ลูกชิ้นปลา เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวางในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เนื่องจากเนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่นและคุณค่าทางโภชนาการ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่วนใหญ่นิยมผลิตจากปลาทะเลมากกว่าปลาน้ำจืด เนื่องจากปลาทะเลมักให้เนื้อสีขาว มีเนื้อสัมผัส และรสชาติดีกว่า ในขณะที่ปลาน้ำจืดโดยทั่วไปมักมีความสามารถในการเกิดเจล (gelling ability) อยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับปลาทะเล [1] โดยความสามารถในการเกิดเจลมีผลโดยตรงต่อลักษณะของเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลา เนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่นของลูกชิ้นปลาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงรูปของโปรตีนโดยเกลือร้อยละ 2-3 ไปละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibrillar protein) ทำให้เนื้อปลาบดมีความหนืดมากขึ้นเรียกว่า เพส (paste) เมื่อนำเพสไปให้ความร้อน โมเลกุลของโปรตีนเกิดการคลายตัว (unfolding) แล้วเกิดการรวมตัวกันอย่างช้า ๆ ด้วยพันธะเคมีชนิดต่าง ๆ เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่น ๆ ที่มีโมเลกุลต่ำไว้ภายในได้เกิดเป็นเจลโปรตีน (protein gel) ที่มีความแข็งและยืดหยุ่น [2] อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันปลาน้ำจืดได้รับความสนใจมากขึ้นในฐานะแหล่งวัตถุดิบทางเลือกในการใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่น โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมซูริมิ เนื่องจากมีการเพาะเลี้ยงในต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ และปลาสามารถกำหนดขนาดที่เหมาะสมได้ในระยะเวลาการเลี้ยงที่สั้น [3] ในประเทศจีนปลาน้ำจืดที่นิยมนำมาใช้ เช่น ปลาหัวโต (bighead carp) ปลาลิ่น (silver carp) และปลาเฉาฮื้อ (grass carp) และปลา black carp [3] การปรับปรุงคุณภาพเจลของปลาน้ำจืดมีรายงานในหลายแนวทาง ไม่ว่าจะเป็นการเติมสารปรุงแต่งอาหาร เช่น ตัวยับยั้งเอนไซม์

โปรตีเอส (protease inhibitors) protein cross-liker หรือสารไฮโดรคอลลอยด์ [3] การปรับสภาวะกระบวนการผลิตให้เหมาะสม หรือการผสมเนื้อปลาที่มีความสามารถในการเกิดเจลสูงเข้ากับเนื้อปลาที่มีความสามารถต่ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพเจล หนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมคือ การผสมปลาต่างชนิดกัน ซึ่งมักใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลา เนื่องจากปลาต่างชนิดมีคุณสมบัติของเจลโปรตีนแตกต่างกัน การผสมเนื้อปลาเข้าด้วยกันจึงช่วยปรับปรุงคุณภาพและตอบสนองความต้องการผู้บริโภค Panpipat et al. [4] รายงานว่า การผสมซูริมิปลาทูเนื้อคล้ำเข้ากับซูริมิปลากะพง (เนื้อขาว) ในอัตราส่วน 1:2 ให้เจลโปรตีนที่มีสีและคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเจลของซูริมิปลากะพงเพียงอย่างเดียว โดยคุณสมบัติของเจลที่ดีขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของปลาเนื้อคล้ำที่ใช้ในสูตร ขณะที่ลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากการผสมปลาลิ้นหมาและปลานิลในอัตราส่วน 80:20 โดยเติมแป้งมันสำปะหลังร้อย 10 และผ่านการให้ความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ตามด้วยการต้มที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีคุณสมบัติด้านกลิ่นที่ดีและให้ความสามารถในการเกิดเจลสูงที่สุด [5] การผสมซูริมิจากเนื้อปลาทรายแดงหางเหลืองกับซูริมิจากปลาลิ่นที่อัตราส่วน 1:3 ทำให้เจลโปรตีนมีความแข็งแรงเจล ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และความขาวเพิ่มขึ้น และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการปรุงสุก (cooking loss) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเจลโปรตีนปลาทรายแดงหางเหลืองและเจลโปรตีนของปลาลิ่นที่ไม่มีการผสมเนื้อปลา [6] อย่างไรก็ตาม เทคนิคการผสมเนื้อปลายังมีการใช้ผสมระหว่างเนื้อปลาทะเลกับปลาทะเล ปลาทะเลและน้ำจืดเป็นส่วนมาก แต่การผสมเนื้อปลาน้ำจืดกับปลาน้ำจืดด้วยกันยังมีการใช้ค่อนข้างน้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจในการใช้เทคนิคการผสมเนื้อปลาในการผลิตลูกชิ้นปลา โดยผู้วิจัยเลือกใช้ปลาน้ำจืดสองชนิดในท้องถิ่นและเป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจ ได้แก่ ปลาสวายและปลานิล โดยปลาสวายที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นปลาน้ำจืดที่จับได้จากอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งเป็นปลาธรรมชาติที่มีปริมาณจับได้มาก มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่ยังมีการใช้ประโยชน์จากเนื้อปลาค่อนข้างน้อยเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องกลิ่น และมีราคาต่อหน่วยค่อนข้างต่ำ ขณะที่ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่เกษตรกรจังหวัดกาฬสินธุ์มีการเลี้ยงในกระชังจำนวนมากบริเวณอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว เนื้อปลามีสีขาว มีไขมันต่ำ นิยมจำหน่ายแบบปลามีชีวิตซึ่งต้องมีขนาดตรงตามความต้องการของตลาด (ขนาด 0.8-1.2 กิโลกรัม) อย่างไรก็ตาม ปลานิลที่มีขนาดไม่ได้ตามความต้องการของตลาด หรือปลานิลที่มักประสบปัญหาตายกระทันหันยังมีการใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าค่อนข้างน้อยเนื่องจากเกษตรกรยังขาดองค์ความรู้ งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการรายงานวิธีการเตรียมเนื้อปลาบดและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเซ็ทตัวของเนื้อปลาทั้งสอง โดยสภาวะการเตรียมเนื้อปลาสวายบดที่เหมาะสมคือ เนื้อปลาสวายบดล้างน้ำและมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเซ็ทตัวอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที [7] ขณะที่สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อปลานิลคือ เนื้อปลานิลบดล้างน้ำและมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเซ็ทตัวอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที [8] ทั้งนี้ การล้างเนื้อปลาบดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการเกิดเจลของโปรตีนซึ่งช่วยขจัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิก ไขมัน และสารที่ละลายน้ำได้ ส่งผลให้ความเข้มข้นของโปรตีนไมโอฟิบริลลาร์เพิ่มมากขึ้นและสามารถสร้างโครงข่ายเจลโปรตีนที่มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น และมีคุณภาพด้านประสาทสัมผัสที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามโปรตีนที่จำเป็นและคุณค่าทางโภชนาการอาจลดลงหากการล้างเนื้อปลาบดมีจำนวนครั้งที่มากเกินไป [2] ด้วยเหตุนี้ การนำเนื้อปลาน้ำจืดทั้งสองชนิดมาผลิตเป็นลูกชิ้นปลาโดยการใช้เทคนิคการผสมเนื้อปลาจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของสัตว์น้ำ และยังเพิ่มช่องทางในการใช้ประโยชน์ให้กับเกษตรกร โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทยืดหยุ่นจากปลาได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของเนื้อปลาสวายและปลานิลต่อสมบัติของเจลปลาและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลา
2. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อลูกชิ้นปลาผสมที่คัดเลือกได้
3. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของลูกชิ้นปลาผสมที่คัดเลือกได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเนื้อปลาสวาย

เตรียมเนื้อปลาสวายบดตามวิธีการของ จักรินทร์ ตรีอินทอง และคณะ [7] โดยซื้อปลาสวายขนาด 5,000 – 7,000 กรัมต่อตัว ซึ่งเป็นปลาสวายธรรมชาติที่จับได้จากอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาวจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปปลาบ้านท่าเรือภูสิงห์ ต.ภูสิงห์ อ.สหัสขันธ์ จ.กาฬสินธุ์ นำมาตัดหัว ควักไส้ และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นแล่เอาเฉพาะกล้ามเนื้อขาวและหนังออกจากกัน นำเฉพาะส่วนกล้ามเนื้อขาวไปล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง หั่นเป็นชิ้นแล้วนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อมาใช้ในการศึกษาต่อไป โดยเนื้อปลาสวายบดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ เนื้อสวายบดไม่ล้างน้ำ (unwashed stripe catfish mince; UW-SC)

2. การเตรียมเนื้อปลานิล

เตรียมเนื้อปลานิลบดดัดแปลงจากวิธีการของ จักรินทร์ ตรีอินทอง [8] โดยซื้อเนื้อปลานิลแล่ (ปลานิลขนาด 400-600 กรัมต่อตัว) จากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปปลาบ้านท่าเรือภูสิงห์ ต.ภูสิงห์ อ.สหัสขันธ์ จ.กาฬสินธุ์ นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นแล่ส่วนกล้ามเนื้อขาวและหนังออกจากกัน นำเฉพาะส่วนกล้ามเนื้อขาวไปล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง หั่นเป็นชิ้นแล้วนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ นำเนื้อปลานิลบดไปล้างน้ำเย็นอัตราส่วนเนื้อปลานิลบดต่อน้ำเย็นเท่ากับ 1:3 (w/w) นาน 10 นาที จำนวน 1 ครั้ง โดยมีการคนเป็นครั้งคราว จากนั้นกรองเนื้อปลานิลบดด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น บีบน้ำล้างออกจากเนื้อปลาให้มากที่สุด จากนั้นนำเนื้อปลานิลบดไปล้างด้วยน้ำเกลือเย็นความเข้มข้นร้อยละ 0.3 (w/v) นาน 10 นาที จำนวน 1 ครั้ง โดยมีการคนเป็นครั้งคราว กรองแยกเนื้อปลานิลบดแล้วบีบน้ำออกจากเนื้อปลาให้มากที่สุด เนื้อปลานิลบดล้างน้ำ (washed Nile tilapia mince; W-NT) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อมาใช้ในการศึกษาต่อไป

3. ศึกษาผลของอัตราส่วนเนื้อปลาสวายและปลานิลต่อคุณภาพเจลปลาและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลา

เตรียมเจลปลาตามวิธีการของ จักรินทร์ ตรีอินทอง และคณะ [7] โดยสับผสมเนื้อปลาบดกับเกลือร้อยละ 3 (w/w) เป็นเวลา 6 นาที และปรับความชื้นด้วยน้ำแข็งบดโดยให้มีความชื้นสุดท้ายเป็นร้อยละ 80 แปรอัตราส่วนร้อยละของ UW-SC ต่อ W-NT เป็น 25:75, 50:50, 75:25 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ได้แก่ เจลปลานิลล้วน (อัตราส่วน 0:100) และเจลปลาสวายล้วน (อัตราส่วน 100:0) แบ่งเนื้อปลาที่บดผสมแล้วออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 นำไปบรรจุโลหะปลอดสนิมขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร แล้วห่อด้วยแผ่นพลาสติกใสมัดหัวท้ายให้แน่น (เจลปลา) ขณะที่ส่วนที่ 2 นำไปขึ้นรูปเป็นลูกชิ้น โดยการขึ้นรูปเป็นลูกชิ้นมีการเติมส่วนผสมอื่นเข้าไปปั่นผสมเพื่อเพิ่มรสชาติให้กับผู้ทดสอบชิม ได้แก่ น้ำตาลทรายร้อยละ 3.5 และพริกไทยป่นร้อยละ 1 ของน้ำหนักเนื้อปลา (ลูกชิ้นปลา) จากนั้นนำไปให้ความร้อน 2 ระดับ ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิความแปรปรวน ± 1°C) โดยทั่วไปการใช้เทคนิคการผสมเนื้อปลาสองชนิดจำเป็นต้องให้เนื้อปลาผสมทุกอัตราส่วนมีการให้ความร้อนในขั้นตอนการเซ็ทตัวของทั้งสองสภาวะของปลาน้ำจืดที่นำมาใช้ โดยอุณหภูมิในการการเซ็ทตัว (setting) ที่เหมาะสมของปลานิลและปลาสวายคือ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที [8] และ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที [7] ตามลำดับ ดังนั้น เนื้อปลาผสมทุกอัตราส่วนในการศึกษานี้นำไปให้ความร้อน 2 แบบ ได้แก่ 1) ที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ต่อด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที (40/90°C) และ 2) ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ต่อด้วยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที (60/90°C) สำหรับตัวอย่างควบคุม ได้แก่ เนื้อปลานิลล้วนอัตราส่วน 0:100 ให้ความร้อนที่ 40/90°C และเนื้อปลาสวายล้วนอัตราส่วน 100:0 ให้ความร้อนที่ 60/90°C จากนั้นนำเจลปลาและลูกชิ้นปลาที่ผ่านการให้ความร้อนแช่ในน้ำเย็นผสมน้ำแข็งนาน 10 นาที นำเจลปลาและลูกชิ้นปลาไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

4. การวิเคราะห์คุณภาพของเจลปลาและลูกชิ้นปลา

4.1 การทดสอบการเจาะทะลุของเจล (puncture test) นำเจลปลาออกจากกระบอกโลหะปลอดสนิม นำไปวัดความแข็งแรงเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA-XT plus ยี่ห้อ Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ ใช้หัวกดแบบ spherical 5s ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กดลงไปในตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ 1.1 มิลลิเมตร/วินาที เป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร วัดค่าของแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ (breaking force) (กรัม) และระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ (breaking distance) (มิลลิเมตร) แล้วคำนวณค่าความแข็งแรงเจล (กรัม.เซนติเมตร) จากแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุคูณด้วยระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ ทำทดสอบ 5 ซ้ำต่อตัวอย่าง [9]

4.2 การวัดโครงร่างทางเนื้อสัมผัส (texture profile analysis; TPA) นำเจลปลาออกจากกระบอกโลหะปลอดสนิม วัด TPA ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA-XT plus ยี่ห้อ Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ โดยใช้หัวกดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กดลงไปในตัวอย่างเป็นระยะทางร้อยละ 60 ของความสูงในรูปแบบของการกดสองครั้ง (two bite) ด้วยความเร็วคงที่ 2 มิลลิเมตร/วินาที วัดค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) และค่าการเกาะตัว (cohesiveness) ทำการทดสอบ 5 ซ้ำต่อตัวอย่าง

4.3 การวัดความขาว (whiteness) นำเจลปลาไปวัดค่า CIE L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี รุ่น Ultra Scan PRO ยี่ห้อ Hunter Lab ประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 6 ซ้ำต่อตัวอย่าง แล้วนำไปคำนวณค่าความขาว ตามสูตรของ [10] ดังนี้

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

4.4 การวัดค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% expressible water; EW) ตัดตัวอย่างให้มีขนาด 0.5 x 1.0 x 0.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก จากนั้นวางตัวอย่างระหว่างกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยวางกระดาษกรองด้านล่าง 3 ชิ้น ด้านบน 2 ชิ้น แล้วใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัม กดทับเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักโดยเครื่องทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วคำนวณค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักโดยใช้สูตร [11]

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = (\text{น้ำหนักเจลปลาก่อนทับ-น้ำหนักเจลปลาหลังทับ})/\text{น้ำหนักเจลปลาก่อนทับ} \times 100$$

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

คัดเลือกสูตรลูกชิ้นปลาผสมจำนวน 1 สูตร โดยพิจารณาคัดเลือกจากผลการวิเคราะห์คุณภาพของเจลปลาและคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อใช้สำหรับการศึกษาในขั้นตอนต่อไป โดยกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกเป็นสูตรที่มีคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่ดีและมีคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด

5. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

ผลิตลูกชิ้นปลาผสมตามสภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 4 จำนวน 1 สูตร นำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน (แบบไม่เจาะจง) โดยสอบถามถึงทัศนคติที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ระดับความชอบด้วยวิธีทดสอบความชอบ (9-point hedonic scale) และการยอมรับของผู้บริโภคต่อลูกชิ้นปลา

6. ศึกษาคุณภาพของลูกชิ้นปลาผสม

ผลิตลูกชิ้นปลาผสมตามสูตรที่คัดเลือกได้จำนวน 1 สูตร นำไปวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

6.1 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต [12]

6.2 ค่าความขาว

6.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด [13]

6.4 คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ พลังงานทั้งหมด ไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว คอเลสเตอรอล น้ำตาลทั้งหมด โซเดียม โพแทสเซียม ตามวิธี [14] และแคลเซียม ตามวิธี AOAC [12]

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ในการศึกษาคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส ความขาว และ expressible water ของเจลปลา และวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) ในการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาผสม วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) สำหรับการศึกษาการยอมรับของผู้โภค ในส่วนของข้อมูลทั่วไป การยอมรับผลิตภัณฑ์ การตัดสินใจซื้อ คำนวณเป็นค่าร้อยละ ส่วนการทดสอบความชอบและคุณภาพของลูกชิ้นปลาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของอัตราส่วนเนื้อปลาสวายและปลานิลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลปลา

การทดสอบเนื้อสัมผัสของเจลปลาโดยวิธี puncture test และ texture profile analysis (TPA) ซึ่งเป็นการประเมินคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยวิธี puncture test เป็นการวัดแบบเจาะทะลุซึ่งวัดความหนาแน่นและความอัดแน่นของโครงข่ายสามมิติของเจลโปรตีนที่เกิดจากการรวมตัวของโปรตีน (protein aggregation) ขณะที่วิธี TPA เป็นการวัดการกดตัวอย่างซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อประเมินคุณสมบัติการเกาะตัวของเจลโปรตีน [15] ผลการทดสอบด้วยวิธี puncture test (Table 1) พบว่า เจลปลาสวายล้วนมีค่า breaking force, breaking distance และ gel strength สูงกว่าเจลปลานิลล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเจลปลานิลล้วนมีค่า gel strength ค่อนข้างต่ำ (39.40±14.38 กรัม·เซนติเมตร) การผสมเนื้อปลาสวายกับเนื้อปลานิลในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า เจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 (40/90°C) และ 75:25 (60/90°C) มีค่า breaking force, breaking distance และ gel strength สูงสุด ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับเจลปลาผสมอัตราส่วนอื่น ๆ และเจลปลานิลล้วน แต่มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างจากเจลปลาสวายล้วน ($p>0.05$) โดยเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 (40/90°C), 50:50 (60/90°C) และ 75:25 (60/90°C) มีค่า breaking force สูงกว่าเจลปลานิลล้วน ($p<0.05$) ขณะที่เจลปลาผสมที่อัตราส่วน 50:50 และ 75:25 ที่ 40/90°C และเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 และ 50:50 ที่ 60/90°C มีค่า breaking distance และ gel strength ต่ำกว่าเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 (40/90°C), 75:25 (60/90°C) และเจลปลาสวายล้วน ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากเจลปลานิลล้วน ($p>0.05$)

จากผลการทดลองจะเห็นว่า เจลปลานิลล้วนมีค่า breaking force, breaking distance และ gel strength ต่ำที่สุด เนื่องจากเนื้อปลานิลที่ใช้ผ่านการแล่และแช่น้ำแข็ง 15 ชั่วโมงก่อนเตรียมเจล ความสดของปลาและชนิดของปลามีผลต่อคุณภาพและความสามารถในการเกิดเจล [16] เจลโปรตีนของปลานิลมีค่าความแข็งแรงเจลต่ำซึ่งแสดงให้เห็นว่า โปรตีน

ของปลานิลมีความสามารถในการเกิดเจลต่ำ ซึ่งอาจเกิดเอนไซม์โปรตีเอสในเนื้อปลานิลเกิดการย่อยโปรตีนมากก่อน เมื่อนำมาผ่านการล้างน้ำด้วยน้ำเกลือร้อยละ 0.3 (w/v) แม้ว่าจะช่วยขจัดโปรตีนซาร์โครพลาสมิก (sarcoplasmic protein) ซึ่งเป็นแหล่งของเอนไซม์โปรตีเอสส่วนใหญ่ออกไปได้ แต่ไม่สามารถขจัดเอนไซม์กลุ่ม myofibrillar type proteinase ออกไปได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suwansakornkul [17] ซึ่งรายงานว่า การล้างเนื้อปลาบดไม่ได้มีส่วนช่วยปรับปรุงความแข็งแรงเจลในปลาปากคม แต่กลับแสดงผลในการส่งเสริมการทำงานของ myofibrillar type proteinase ต่อการสลายตัวของ myosin heavy chain ของเจลปลา Maeso และ Wanieso ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากการทดลองเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 ให้ความร้อนที่ 40/90°C (อุณหภูมิเซ็ทตัวที่เหมาะสมของปลานิล) มีค่า breaking force, breaking distance และ gel strength เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากผลของการเสริมกันระหว่างโปรตีนจากปลาทั้งสองชนิด ซึ่งอาจช่วยเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ และช่วยปรับปรุงการจับกันระหว่างโปรตีนกับโปรตีน [6] นอกจากนี้ ค่าเนื้อสัมผัสดังกล่าวที่เพิ่มขึ้นของเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 ซึ่งมีปริมาณปลานิลร้อยละ 75 นั้น อาจเกิดจากเอนไซม์ทรานกลูทามิเนส (tranglutaminase; TGase) ในเนื้อปลานิลบางส่วนที่ยึดเหนี่ยวกับโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ไม่ได้ถูกกำจัดออกไประหว่างการล้างเนื้อปลาบด ซึ่งการทำงานของเอนไซม์ TGase ในกล้ามเนื้อปลานิลมีกิจกรรมที่สูงและมีกิจกรรมสูงสุดที่อุณหภูมิช่วง 40-50 องศาเซลเซียส [18] โดยเอนไซม์ TGase จะช่วยสร้างพันธะที่ทำให้เจลโปรตีนมีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การผสมเนื้อปลาสวายตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป (ที่สภาวะ 40/90°C) ทำให้เจลปลาผสมมีความแข็งแรงเจลลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า โปรตีนปลาสวายสามารถเกิดเจลได้ค่อนข้างต่ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ จักรินทร์ ตรีอินทอง และคณะ [19] ที่รายงานว่า เนื้อปลาสวายบดไม่สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงถึงความคงตัวของโปรตีนปลาสวายต่อความร้อน (thermal stability) ทำให้โปรตีนปลาสวายที่อุณหภูมิดังกล่าวอาจจะยังไม่เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนและไม่เกิดการคลายเกลียวของโปรตีน ส่งผลให้โมเลกุลโปรตีนของเนื้อปลาสวายไม่สามารถจับกันได้เพื่อสร้างโครงข่ายสามมิติที่จับน้ำไว้ภายใน ทำให้ค่าความแข็งแรงเจลลดลง ขณะที่สภาวะการให้ความร้อน 60/90°C พบว่า เจลปลาผสมที่อัตราส่วน 50:50 และ 75:25 มีค่า breaking force สูงกว่าเจลปลานิลล้วน ขณะที่ค่า breaking distance และ gel strength มีค่าสูงกว่าเจลปลานิลล้วนที่อัตราส่วน 75:25 โดยเจลปลาผสมที่ใช้เนื้อปลานิลที่อัตราส่วนร้อยละ 25-50 นำไปให้ความร้อนที่ 60/90°C มีค่า breaking force, breaking distance และ gel strength น้อยกว่าเจลปลาสวายล้วน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าเกิดจากเอนไซม์ myofibrillar type proteinase ในเนื้อปลานิลซึ่งไม่ถูกกำจัดด้วยการล้างน้ำเกลือร้อยละ 0.3 (w/v) และทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไปทำให้เกิดการสลายตัวของเจลส่งผลให้เจลปลาผสมที่ได้มีความแข็งแรงเจลลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [20] ที่รายงานว่า ซูริมิที่ผลิตจากปลานิลมีเอนไซม์โปรตีเอสชนิด serine type proteinase ซึ่งมีกิจกรรมการเกิด proteolysis สูงสุดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส แต่มีผลค่อนข้างน้อยในเจลปลาผสมที่อัตราส่วนปลาสวายต่อปลานิลเท่ากับ 75:25 (ปลานิลร้อยละ 25) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของเนื้อปลามีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเจลปลาผสม โดยเจลปลาผสมที่มีอัตราส่วนของปลาชนิดใดมากกว่าและมีการให้อุณหภูมิในการเซ็ทตัวที่เหมาะสมกับชนิดปลานั้นมีแนวโน้มช่วยเพิ่มค่า breaking force, breaking distance และ gel strength เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อุณหภูมิในการเซ็ทตัวที่ไม่เหมาะสม

Table 1 breaking force, breaking distance and gel strength of fish gel prepared from unwashed striped catfish mince (UW-SC) and washed Nile tilapia mince (W-NT) at different ratios

Ratios of UW-SC: W-NT (heating condition)	Breaking force (g)	Breaking distance (mm)	Gel strength (g.cm)
0: 100 (40/90°C)	66.97±13.49 ^{d}	5.77±0.92 ^{b}	39.40±14.38 ^{b}
25: 75 (40/90°C)	154.25±15.16 ^{ab}	10.35±1.19 ^{a}	159.69±23.91 ^{a}
25: 75 (60/90°C)	94.37±22.44 ^{cd}	6.77±0.81 ^{b}	65.09±21.35 ^{b}
50: 50 (40/90°C)	103.36±39.69 ^{cd}	7.54±1.86 ^{b}	83.25±48.52 ^{b}
50: 50 (60/90°C)	108.66±22.73 ^{bc}	7.71±1.07 ^{b}	85.72±27.51 ^{b}
75: 25 (40/90°C)	97.34±7.83 ^{cd}	6.83±0.87 ^{b}	66.87±12.03 ^{b}
75: 25 (60/90°C)	146.02±39.29 ^{a}	10.48±1.32 ^{a}	156.55±54.96 ^{a}
100: 0 (60/90°C)	146.93±48.98 ^{ab}	12.18±2.44 ^{a}	188.09±93.64 ^{a}

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

ผลการวิเคราะห์ TPA ของเจลปลาผสม (Table 2) พบว่า เจลปลานิลล้วนมีค่า hardness (522.20 กรัม) และ springiness (0.658) สูงกว่า แต่มีค่า cohesiveness (0.692) น้อยกว่าเจลปลาสวายล้วน ($p<0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจลปลานิลล้วน มีความแข็งและความยืดหยุ่นมากกว่า แต่มีแรงเกาะตัวภายในเจลน้อยกว่าเจลปลาสวายล้วน โดยค่าความแข็ง (hardness) ที่วัดได้นั้นคือ ค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเสียรูปซึ่งแสดงถึงแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างระหว่างฟันกรามเพื่อเปลี่ยนรูปร่างตัวอย่าง ขณะที่ความยืดหยุ่น (springiness) คือ ระดับความสามารถในการคืนตัวกลับมาเหมือนเดิมเมื่อมีการถอนแรงกดออกไปจากตัวอย่าง ส่วนค่าการเกาะตัวของเจล (cohesiveness) แสดงถึงความแข็งแกร่งของพันธะภายในที่เกิดขึ้นในตัวอย่างแล้วทำให้ตัวอย่างทนต่อแรงที่มากระทำก่อนที่ตัวอย่างจะขาดหรือแยกออกจากกัน [21] เมื่อนำเนื้อปลาทั้งสองชนิดมาผสมกัน พบว่า เจลปลาผสมที่ทุกอัตราส่วนของทั้งสองสภาวะการให้ความร้อนมีค่า hardness สูงกว่าเจลปลาสวายล้วน ($p<0.05$) ขณะที่เจลปลาผสมที่อัตราส่วน 50:50 (40/90°C), 50:50 (60/90°C) และ 75:25 (40/90°C) มีค่า hardness ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และมีค่าสูงกว่าเจลปลานิลล้วน ($p<0.05$) โดยเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 75:25 (40/90°C) มีค่า hardness สูงที่สุด (773.04 กรัม) เมื่อพิจารณาค่า cohesiveness พบว่า เจลปลาผสมที่ทุกอัตราส่วนของทั้งสองสภาวะการให้ความร้อนมีค่า cohesiveness ต่ำกว่าเจลปลาสวายล้วน ($p<0.05$) ขณะที่เจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 (40/90°C), 50:50 (40/90°C) และ 75:25 (60/90°C) มีค่า cohesiveness สูงกว่าเจลปลานิลล้วน ($p<0.05$) และมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเจลปลาผสมอื่น ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การผสมเนื้อปลาสวายในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถช่วยปรับปรุงค่าการเกาะตัวของเจลได้เมื่อเปรียบเทียบกับเจลปลานิลล้วนซึ่งมีค่าการเกาะตัวต่ำสุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมปลาสวายลงไปช่วยปรับปรุงโครงสร้างเจลปลานิลให้เหนียวและทนทานต่อแรงกดได้ดีขึ้น สำหรับค่า springiness พบว่า เจลปลาผสมที่ทุกอัตราส่วนมีค่า springiness สูงกว่าเจลปลาสวายล้วน ($p<0.05$) ขณะที่เจลปลาผสมที่อัตราส่วน 75:25 (60/90°C) มีค่า springiness สูงกว่าเจลปลานิลล้วนและเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 (40/90°C), 50:50 (40/90°C) และ 25:75 (60/90°C) ($p<0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างจากเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 75:25 (40/90°C) และ 50:50 (60/90°C) ($p>0.05$) การผสมเนื้อปลาทั้งสองชนิดส่งผลดีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสเจลโปรตีนปลามากกว่าการใช้เนื้อปลาชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว โดย ปลาสวายช่วยเพิ่มค่าการเกาะตัวของเจล ในขณะที่ปลานิลช่วยเพิ่มด้านโครงสร้างความแข็งและความยืดหยุ่นของเจล

Table 2 hardness, cohesiveness and springiness of fish gel prepared from unwashed striped catfish mince (UW-SC) and washed Nile tilapia mince (W-NT) at different ratios

Ratios of UW-SC: W-NT (heating condition)	hardness (g)	cohesiveness	springiness
0: 100 (40/90°C)	522.20±66.34 [c]	0.692±0.062 [e]	0.658±0.052 [b]
25: 75 (40/90°C)	523.93±82.29 [c]	0.814±0.024 [b]	0.682±0.055 [b]
25: 75 (60/90°C)	610.99±174.16 [bc]	0.727±0.069 [de]	0.679±0.105 [b]
50: 50 (40/90°C)	668.66±44.51 [ab]	0.801±0.021 [bc]	0.665±0.056 [b]
50: 50 (60/90°C)	713.30±67.10 [ab]	0.752±0.024 [cde]	0.723±0.052 [ab]
75: 25 (40/90°C)	773.04±99.95 [a]	0.724±0.023 [de]	0.726±0.063 [ab]
75: 25 (60/90°C)	647.47±43.79 [abc]	0.764±0.057 [bcd]	0.817±0.339 [a]
100: 0 (60/90°C)	282.81±101.68[d]	0.883±0.034 [a]	0.562±0.107 [c]

[a-e] Mean in the same column with different letters are significantly different ($p<0.05$)

2. ผลของอัตราส่วนเนื้อปลาสวายและปลานิลต่อค่าความขาวและ expressible water ของเจลปลา

ผลการทดสอบค่าความขาว และ expressible water ของเจลปลาผสม (Table 3) พบว่า เจลปลานิลล้วนมีค่าความขาวมากที่สุด ($p<0.05$) โดยมีค่าความขาวเท่ากับ 85.00 ส่วนเจลปลาสวายล้วนมีค่าความขาวน้อยกว่าเจลปลานิล ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 82.24 ทั้งนี้เนื่องจากปลานิลเป็นปลาเนื้อขาวและผ่านการเตรียมเนื้อปลาด้วยการล้างเนื้อปลาบด 2 ครั้ง ซึ่งช่วยกำจัดเม็ดสีและเลือดออกไปจากเนื้อปลา ขณะที่ปลาสวายมีเนื้อสีส้มอ่อนอมแดง ไม่ผ่านการล้างเนื้อปลาบด เมื่อนำเนื้อปลาทั้งสองมาเตรียมเจลจึงส่งผลให้เจลปลาผสมมีค่าความขาวลดลงเล็กน้อยตามสัดส่วนเนื้อปลาสวาย โดยเจลปลาผสมมีค่าความขาวอยู่ในช่วง 81.99 - 83.66 สำหรับค่า expressible water (EW) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของเจล หากค่า EW มีค่าน้อยแสดงว่า เจลมีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี น้ำจึงไม่สูญเสียออกมาจากเจลปลาซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับความฉ่ำของเนื้อสัมผัส ผลการทดสอบพบว่า เจลปลานิลล้วนมีค่า EW สูงที่สุด (ร้อยละ 75.65) หมายความว่า เจลมีการสูญเสียน้ำจากเจลมากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าโครงสร้างเจลปลานิลอาจไม่แข็งแรงสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงเจลของเจลปลานิลล้วนที่มีค่าต่ำ ส่งผลให้ไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ดี ขณะที่เจลปลาสวายล้วนมีค่า EW ต่ำที่สุด (ร้อยละ 61.33) และต่ำกว่าเจลปลานิลล้วน ($p<0.05$) ซึ่งแสดงว่า เจลปลาสวายล้วนสามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่าเจลปลานิลล้วน ความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีแสดงถึงความสามารถในการเกิดเจลที่ดีของโปรตีนซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสที่เจลปลาสวายล้วนมีค่าความแข็งแรงเจลและการเกาะตัวสูงกว่าเจลปลานิลล้วน ทั้งนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลโปรตีนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างของเจล โดยเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงกว่าจะสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้มากและมีค่า expressible moisture ที่ต่ำ [22] เมื่อนำเนื้อปลาทั้งสองชนิดมาผสมกัน พบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเนื้อปลาสวายทำให้เจลปลาผสมมีค่า EW ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเจลปลานิลล้วน ทั้งนี้เนื่องจากการผสมเนื้อปลาที่มีความสามารถในการเกิดเจลต่ำกับเนื้อปลาที่มีความสามารถในการเกิดเจลสูงเข้าด้วยกัน การเกิดเจลจะแปรผันตามปริมาณเนื้อปลาที่มีความสามารถในการเกิดเจลต่ำ เนื่องจากโปรตีน ไมโอซินจากปลาที่เกิดซูวาริ (suwari) ได้ต่ำไม่สามารถจับกับโปรตีนไมโอซินจากปลาที่เกิดซูวาริได้ดี [23]

Table 3 Whiteness and expressible water of fish gel prepared from unwashed striped catfish mince (UW-SC) and washed Nile tilapia mince (W-NT) at different ratios

Ratios of UW-SC: W-NT (heating condition)	Whiteness	Expressible water (%)
0: 100 (40/90°C)	85.00±0.83 ^{a}	75.65±3.24 ^{a}
25: 75 (40/90°C)	82.49±0.54 ^{cd}	71.71±2.04 ^{ab}
25: 75 (60/90°C)	82.71±0.98 ^{cd}	63.17±2.30 ^{cd}
50: 50 (40/90°C)	82.97±0.60 ^{bc}	68.24±1.15 ^{bc}
50: 50 (60/90°C)	82.23±0.45 ^{cd}	63.87±5.06 ^{cd}
75: 25 (40/90°C)	83.66±0.21 ^{b}	67.12±3.74 ^{bc}
75: 25 (60/90°C)	81.99±0.69 ^{d}	63.18±1.42 ^{cd}
100: 0 (60/90°C)	82.24±0.45 ^{cd}	61.33±1.90 ^{d}

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

3. ผลของอัตราส่วนเนื้อปลาสวายและปลานิลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาผสม

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาผสมระหว่างเนื้อปลาสวายและเนื้อปลานิลในอัตราส่วนต่าง ๆ (Table 4) พบว่า คะแนนความชอบด้านรสชาติของลูกชิ้นปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 และ 75:25 ในทั้งสองสภาวะการให้ความร้อนได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าลูกชิ้นปลานิลล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีแนวโน้มคะแนนสูงกว่าลูกชิ้นปลาสวายล้วน โดยกลุ่มอัตราส่วนดังกล่าวมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.12 - 7.20 คะแนน) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่า การผสมเนื้อปลาทั้งสองชนิดในทุกอัตราส่วนของทั้งสองสภาวะการให้ความร้อน (40/90°C และ 60/90°C) ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยได้รับคะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ถึง ชอบปานกลาง

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสประกอบกับผลการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า เจลปลานิลล้วนมีความขาวสูงสุด ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความแข็งแบบแข็งเปราะ (high hardness, low gel strength) และเจลมีการสูญเสียน้ำหนักง่าย ขณะที่เจลปลาสวายให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความเหนียวและความแข็งแรงเจลดี (high cohesiveness, high gel strength) เจลมีความสามารถกักเก็บน้ำได้ดี แต่มีความขาวน้อยกว่าเจลปลานิลล้วน เมื่อนำเนื้อปลาทั้งสองชนิดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า เจลปลาผสมที่ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่นและเหนียว เจลสามารถอุ้มน้ำได้ดี และมีคะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ได้แก่ สูตรลูกชิ้นปลาผสมอัตราส่วน 75:25 ที่ 60/90°C จึงคัดเลือกลูกชิ้นปลาผสมสูตรดังกล่าวเพื่อใช้ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

Table 4 Sensory quality of fish ball prepared from unwashed striped catfish mince (UW-SC) and washed Nile tilapia mince (W-NT) at different ratios

Ratios of UW-SC: W-NT (heating condition)	appearance ^{ns}	color ^{ns}	odor ^{ns}	taste	texture ^{ns}	overall liking ^{ns}
0: 100 (40/90°C)	7.76±1.09	7.68±0.94	6.88±1.36	6.24±1.59 ^{b}	7.04±1.37	7.00±1.00
25: 75 (40/90°C)	7.80±1.04	7.80±0.91	6.92±1.11	7.12±1.30 ^{a}	7.60±1.19	7.40±1.15

Ratios of UW-SC: W-NT (heating condition)	appearance ^{ns}	color ^{ns}	odor ^{ns}	taste	texture ^{ns}	overall liking ^{ns}
25: 75 (60/90°C)	7.84±1.03	7.72±0.79	7.16±1.07	7.20±1.50 ^{a}	7.52±0.96	7.52±1.08
50: 50 (40/90°C)	7.68±1.14	7.56±0.82	7.04±1.13	6.80±1.47 ^{ab}	7.28±1.31	7.24±0.97
50: 50 (60/90°C)	7.44±1.36	7.32±1.43	6.68±1.37	6.44±1.76 ^{b}	6.96±1.64	6.96±1.57
75: 25 (40/90°C)	7.60±1.29	7.36±1.32	6.80±1.29	7.20±1.35 ^{a}	7.68±1.18	7.52±1.00
75: 25 (60/90°C)	7.76±1.13	7.56±1.19	7.04±1.31	7.20±1.38 ^{a}	7.32±1.37	7.48±1.23
100: 0 (60/90°C)	7.56±1.58	7.24±1.59	6.32±1.86	6.72±1.72 ^{ab}	7.56±0.77	7.32±1.11

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

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

4. **ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อลูกชิ้นปลาเนื้อผสม**

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 100 คน (Table 5) พบว่า ผู้ทดสอบเป็นเพศหญิงและเพศชายคิดเป็นร้อยละ 51 และ 49 ตามลำดับ ส่วนใหญ่ผู้ทดสอบอยู่ในกลุ่มอายุมากกว่า 20-30 ปี (ร้อยละ 52) รองลงมาคือกลุ่มผู้บริโภคอายุ 41-50 ปี (ร้อยละ 20) กลุ่มอายุ 31-40 ปี (ร้อยละ 16) กลุ่มอายุต่ำกว่า 20 ปี (ร้อยละ 8) และกลุ่มอายุมากกว่า 50 ปี (ร้อยละ 4) ตามลำดับ โดยร้อยละ 65 มีการศึกษาอยู่ที่ระดับปริญญาตรี รองลงมาคือสูงกว่าระดับปริญญาตรีร้อยละ 24 ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มนักเรียน/นักศึกษาร้อยละละ 48 รองลงมา ได้แก่ อาชีพรับราชการ/รัฐวิสาหกิจ (ร้อยละ 26) รายได้ส่วนใหญ่ของผู้ทดสอบร้อยล 38 อยู่ที่น้อยกว่า 5,000 บาทต่อเดือน รองลงมาคือ มีรายได้มากกว่า 20,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 26) สำหรับผลการทดสอบความชอบ (Table 6) พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมอยู่ที่ระดับชอบปานกลาง (7.06 - 7.64 คะแนน) ขณะที่คะแนนความชอบด้านกลิ่นอยู่ที่ระดับชอบเล็กน้อย (6.71 คะแนน) การยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบ (Table 7) พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 92 และตัดสินใจซื้อร้อยละ 79 สำหรับเหตุผลในการตัดสินใจซื้อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ รสชาติอร่อย อยากทดลองบริโภคผลิตภัณฑ์ มีความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีต่อสุขภาพ และสะดวกต่อการบริโภค คิดเป็นร้อยละ 26.75 23.57 21.66 16.56 และ 11.46 ตามลำดับ ลักษณะของลูกชิ้นปลาผสมแสดงดัง Figure 1

Table 5 General information of 100 respondents in the survey on consumer attitudes and preferences toward mixed fish ball

	General information	Percentage
Gender	Male	49
	Female	51
Age	< 20 years	8
	20-30 years	52
	31-40 years	16
	41-50 years	20
	>50 years	4
Education level	Primary school – Secondary school	5

	General information	Percentage
	Diploma / Vocational Certificate	6
	Bachelor's degree	65
	Higher than bachelor's degree	24
Occupation	Student/ Undergraduate student	48
	Civil servant / State enterprise employee	26
	Private company employee	2
	Business owner / Self-employed	9
	Others (e.g., Research Assistant, Homemaker)	15
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 mixed fish ball (n = 100)

Attributes	Average ± standard deviation
Appearance	7.64 ± 1.29
Color	7.55 ± 1.52
Odor	6.71 ± 1.72
Taste	7.06 ± 1.72
Texture	7.29 ± 1.57
Overall liking	7.13 ± 1.67

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

Factor		Percentage
Product acceptance		
Accept		92
Not accept		8
Purchase decision		
In the case of purchase		79
Because	they wanted to try the product *	23.57
	Easy to consume *	11.46
	Nutritious and beneficial for health *	16.56
	Novelty of the product *	21.66

Factor		Percentage
Delicious taste *		26.75
In the case of not purchasing		21
Because	they disliked the appearance of the product	12
	Unfamiliar with the product *	24
	Unpleasant taste*	52
	Fishy odor *	8
	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 1 Mixed Fish Ball

5. คุณภาพของลูกชิ้นปลาผสม

คุณภาพของลูกชิ้นปลาผสมที่ผลิตได้จากปลาสวายและปลานิล อัตราส่วน 1:3 ให้ความร้อนที่ 60/90°C (Table 8) พบว่า มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 79.65, 14.81, 0.43, 1.43 และ 2.53 ตามลำดับ ลูกชิ้นปลา 100 กรัม ให้พลังงานทั้งหมด 73 กิโลแคลรี ไขมันอิ่มตัว 0.17 กรัม คอเลสเตอรอล 29.86 มิลลิกรัม ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 1.06 กรัม โซเดียม 62.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียม 313.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคลเซียม 43 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สำหรับค่าความขาว มีค่า 81.99 และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.70×10^2 CFU/g จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ลูกชิ้นปลาผสมเป็นแหล่งอาหารโปรตีน มีไขมัน คอเรสเตอรอล และโซเดียมต่ำ เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ลูกชิ้นปลาเนื้อผสมที่ได้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ลูกชิ้นปลา (มผช. 328/2547) ซึ่งกำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 CFU/g [24]

Table 8 Quality of mixed fish ball prepared from UW-SC and W-NT in a 3:1 ratio with heating at 60/90°C

Quality of mixed fish ball	Average ± standard deviation
Moisture (%)	79.65±0.04
Protein (%)	14.81±0.05
Fat (%)	0.43±0.00
Ash (%)	1.43 ±0.02
Carbohydrate (%)	2.53±0.03
Total Energy (kcal/100 g)	73
Saturated fat (g/100g)	0.17
Cholesterol (mg/100g)	29.86
Total sugar (g/100g)	1.06
Sodium (mg/kg)	62.04
Potassium (mg/kg)	313.60
Calcium (mg/100g)	43
Whiteness	81.99 ± 0.69
Total Plate Count (CFU/g)	$5.70x10^2$

สรุปผล

การผสมเนื้อปลาในอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยการใช้อุณหภูมิในการเซ็ทตัวที่เหมาะสมกับชนิดปลาช่วยเพิ่มคุณภาพเจลได้ โดยเจลปลาผสมที่อัตราส่วน 25:75 (ที่ 40/90°C) และ 75:25 (ที่ 60/90°C) ให้ค่า breaking force และ gel strength สูงที่สุด ($p<0.05$) เจลที่มีส่วนผสมของเนื้อปลาสวายตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป ให้ค่า hardness สูงสุด โดยการเติมเนื้อปลาสวายช่วยเพิ่มค่า cohesiveness ของเจล ในขณะที่เนื้อปลานิลช่วยเพิ่มความแข็งและความยืดหยุ่นของเจล การเพิ่มปริมาณเนื้อปลาสวายมีแนวโน้มทำให้ค่าความขาวลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ปลาสวายช่วยให้เจลมีค่า expressible water ลดลง ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีขึ้น ทั้งนี้ลูกชิ้นปลาผสมมีแนวโน้มคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงกว่าลูกชิ้นปลานิลล้วน โดยสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ ลูกชิ้นปลาอัตราส่วน 75:25 (ปลาสวาย:ปลานิล) ให้ความร้อนที่ 60/90°C เนื่องจากให้เนื้อสัมผัสที่แข็งแรง ยืดหยุ่น เหนียว อุ้มน้ำได้ดี และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูง เมื่อนำไปทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไป (100 คน) พบว่า มีการยอมรับร้อยละ 92 และมีการตัดสินใจซื้อร้อยละ 79 โดยลูกชิ้นปลาผสมมีโปรตีนสูง (ร้อยละ 14.81) แต่มีไขมัน คอเลสเตอรอล และโซเดียมต่ำ มีความปลอดภัยต่อการบริโภค ดังนั้นการผสมเนื้อปลาสวายและปลานิลด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางสำหรับการผลิตลูกชิ้นปลาที่มีคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

กิตติกรรมประกาศ

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

เอกสารอ้างอิง

1. 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): 359-374.
2. Suzuki T. Fish and Krill Protein Processing Technology. London: Applied Science Publ; 1981.
3. Buamard N, Singh A, Benjakul S. Improvement of surimi gel quality using protein cross-linker, hydrocolloids and protease inhibitor. Turk J Fish Aquat Sci. 2024; 24: TRJFAS24808. doi:10.4194/TRJFAS24808
4. Panpipat W, Chaijan M, Benjakul S. Gel properties of croaker–mackerel surimi blend. Food Chemistry. 2010; 122(4): 1122-1128.
5. อรทัย เปี่ยมปรีดา, จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร. การผลิตลูกชิ้นปลาจากเนื้อปลาสองชนิด. อาหาร. 2546: 33(1): 35-44.
6. Yi S, Huo Y, Qiao C, Wang W, Li X. Synergistic gelation effects in surimi mixtures composed of *Nemipterus virgatus* and *Hypophthalmichthys molitrix*. J Food Sci. 2019; 84(12): 3634-3641. doi:10.1111/1750-3841.14761
7. จักรินทร์ ตรีอินทอง, ฤทธิ์ชัย คำโฮง, วนัฐวิน ภูขมร. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาสวาย. วารสารแก่นเกษตร. 2562; 47(พิเศษ2): 461-466. https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=742.pdf&id=3797&keeptrack=4
8. จักรินทร์ ตรีอินทอง. การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในลูกชิ้นจากปลาน้ำจืด [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2559.
9. Marine Fisheries Research Department (MFRD). Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products. Singapore: SEAFDEC; 1987.
10. Lanier TC. Measurement of surimi composition and functional properties. In: Lanier TC, Lee CM, editors. Surimi Technology. New York: Marcel Dekker, Inc.; 1992. p. 123-163.
11. สิตา เบญจไพพงษ์, ณิชกานต์ พุทธิเสาวภาคย์, ภัทิรา สุดเลิศ, วรางคณา สมพงษ์. การผลิตลูกชิ้นปลาเสริมผงกระดูกจากปลาแซลมอน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ววท.). 2564; 29(4): 561-571. doi: 10.14456/tstj.2021.48
12. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis. 20th ed. Washington, DC: AOAC; 2016.
13. Andrews W. Manual of Food Quality Control. Vol. 4, Rev. 1: Microbiological Analysis. Rome: FAO Food and Nutrition Paper; 1992.
14. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis. 22nd ed. Washington, DC: AOAC; 2023.
15. Lee CM, Chung KH. Analysis of surimi gel properties by compression and penetration tests. J Texture Stud. 1989; 20(3): 363-377.
16. Yarnpakdee S, Benjakul S, Visessanguan W, Kijroongrojana K. Thermal properties and heat-induced aggregation of natural actomyosin extracted from goatfish (*Mulloidichthys martinicus*) muscle as influenced by iced storage. Food Hydrocoll. 2009; 23(7): 1779-1784. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.006

17. Suwansakornkul P. The Gel-Forming Characteristics of Lizardfish. Nippon Suisan Gakk. 1993; 59(6): 1029-1037.
18. Worratao A, Yongsawatdigul J. Cross-linking of actomyosin by crude tilapia (*Oreochromis niloticus*) transglutaminase. J Food Biochem. 2003; 27(1): 35-51. https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2003.tb00265.x
19. จักรินทร์ ตรีอินทอง, วนัฐวิน ภูขมร, ศิวาพร สีดาบุตร. ผลของสภาวะการล้างและการให้ความร้อนต่อสมบัติเจลของปลาสวาย. แก่นแกษตร. 2562; 47(พิเศษ1): 1265-1272. https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=109_Fis34.pdf&id=3581&keeptrack=1
20. Yongsawatdigul J, Park JW, Virulhakul P, Viratchakul S. Proteolytic degradation of tropical tilapia surimi. J Food Sci. 2000; 65(1): 129-33. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15967.x
21. ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. Journal of Food Technology, Siam University. 2550; 3(1): 6-13. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/JFTSU/article/view/38437
22. Kim JM, Lee CM, Hufnagel LA. Textural properties and structure of starch-reinforced surimi gels as affected by heat-setting. Food Struct. 1987; 6(1): 11.
23. KIM SH, Carpenter JA, Lanier TC, Wicker L. Setting response of Alaska pollock surimi compared with beef myofibrils. J Food Sci. 1993; 58(3): 531-534. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04317.x
24. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ลูกชิ้นปลา (มผช. 328/2547). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม; 2547.