

อิทธิพลของปลาสวาย ปลาอินทรี และงาดำ ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ

Influence of Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) Mackerel (*Scomberomorus guttatus*) and Black Sesame Seeds on the Physicochemical Properties of Fish Crackers

สุรีย์รัตน์ เอ็มพรหม, ภาพิมล ประจงพันธ์, ศศธร สิงขรอาจ*

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร 10120

Sureerat Aemprom, Papimon Prachongpun, Sasathorn Singkhornart*

Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, 10120

Received 10 February 2023; Received in revised 20 March 2023; Accepted 29 March 2023

บทคัดย่อ

เนื้อปลาเป็นแหล่งของสารอาหารโปรตีนที่มีคุณภาพดี และงาดำมีกรดไขมันที่สำคัญต่อสุขภาพ จัดเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของเนื้อปลาสวาย เนื้อปลาอินทรี และงาดำต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ โดยศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยปลาสวาย และปลาอินทรีที่ร้อยละ 80 และ 90 เสริมงาดำลงในเนื้อปลาร้อยละ 5 และ 6 จัดสิ่งทดลองแบบแฟกทอเรียล (2x2x2) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด พบว่า เมื่อเพิ่มปลาอินทรีร้อยละ 90 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโปรตีนสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์มีค่าน้ำอิสระลดลงและต่ำกว่า 0.6 จากการเพิ่มปลาสวายร้อยละ 90 แสดงถึงดัชนีการดูดซับน้ำและการละลายน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น ผลจากการเติมปลาอินทรีร้อยละ 90 และงาดำร้อยละ 6 ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสี (L^*) (a^*) และ (b^*) ลดลง โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์เกิดเซลล์อากาศขนาดใหญ่ และมีปริมาณเซลล์อากาศเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลา ร้อยละ 90 ผลทดลองแสดงให้เห็นว่า ปลาแผ่นอบกรอบปริมาณร้อยละ 90 จากปลาอินทรีและปลาสวาย ให้สารโปรตีนร้อยละ 40.50-41.31 และ 35.66-36.05 เหมาะสำหรับการใช้เป็นแหล่งของสารโปรตีนที่ดีต่อสุขภาพ

คำสำคัญ: ปลาแผ่นอบกรอบ; ปลาสวาย; ปลาอินทรี; งาดำ

Abstract

Fish meat was a great source of high-quality protein and black sesame seeds were rich in containing essential nutrients and healthy nutritional value. This study investigated the influence of fish meat (striped catfish and mackerel) and black sesame seeds on the physicochemical properties of fish crackers. The substitution of wheat flour with the striped catfish and mackerel (80 and 90%), supplementary fish meats were incorporated with black sesame seeds (5 and 6%), using of (2x2x2) factorial experiment in a completely randomized design. The result showed that mackerel (90%) significantly enhances the highest protein of the product ($p < 0.05$), while the water activity of fish crackers decreased less than 0.6. Adding striped catfish (90%) demonstrated both the water absorption index and water solubility index tended to increase. The effect of mackerel (90%) and black sesame seeds (6%) on the quality of the product in increased hardness while decreased colors value (L^*) (a^*) and (b^*). The internal structure of large shape air cells and increased air cell amount were augmented by striped catfish and mackerel (90%). These results suggested that fish crackers content of 90% with mackerel and striped catfish contain 40.50-41.31% and 36.05-35.66% of protein, a good source of protein for healthy.

Keywords: Fish crackers; Striped catfish; Mackerel; Black sesame

1. บทนำ

อาหารว่างหรือขนมคบเคี้ยว เริ่มมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุเพราะผู้คนส่วนใหญ่ในสังคมใช้ชีวิตด้วยความเร่งรีบ จะเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถหาได้ง่าย และสะดวกต่อการพกพา ซึ่งผลิตภัณฑ์ขนมคบเคี้ยว ส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบจำพวกแป้ง น้ำตาล และไขมัน มีโปรตีนต่ำ [1] ทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการไม่เพียงพอต่อผู้บริโภคที่ควรจะได้รับ อย่างไรก็ตามการมีภาวะโภชนาการที่ดีจำเป็นต้องได้จากการรับประทานอาหารทุกมื้อที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย ดังนั้นการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีสารอาหารโปรตีน และกรดไขมัน ที่สำคัญต่อสุขภาพ มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมคบเคี้ยว ให้มีปริมาณโปรตีนมากถึงร้อยละ 26.14 จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นแหล่งของโปรตีนทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค [2]

ปลาซวาย (*Pangasianodon hypophthalmus*) เป็นปลาน้ำจืด และปลาอินทรี (*Scomberomorus*

guttatus) เป็นปลาทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งในเนื้อปลาทั้งสองสายพันธุ์นี้มีคุณค่าทางโภชนาการ ให้สารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ ได้แก่ โปรตีน กรดไขมันโอเมก้า 3 (n-3 fatty acid) วิตามิน และเกลือแร่ จากผลวิจัยของ Sadirman et al. [3] พบว่า *Pangasianodon hypophthalmus* ที่มีน้ำหนักตัว 800-1000 กรัม กล้ามเนื้อส่วนลำตัวมีสารโปรตีนร้อยละ 13.83 มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ได้แก่ Docosahexaenoic acid (DHA) C22:6n-3 ร้อยละ 0.70 และ Eicosapentaenoic acid (EPA) C20:5n-3 ร้อยละ 0.23 และจากรายงานวิจัยพบว่า *Scomberomorus guttatus* มีโปรตีนร้อยละ 15.99 มีกรดไขมัน DHA 1.34 มิลลิกรัมต่อกรัม และ EPA 0.28 มิลลิกรัมต่อกรัม [4] ซึ่งไขมันที่พบในปลาทั้งสองสายพันธุ์นี้ จัดว่ามีกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ช่วยลดความเสี่ยงของภาวะความดันโลหิตภายในหลอดเลือดแดงสูงกว่าปกติ [5] โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคไขข้ออักเสบ โรคภาวะสมองเสื่อมและภาวะซึมเศร้า [6]

อีกทั้งในเนื้อปลายังมี กรดอะมิโนทอรีน (Taurine) ที่มีความสำคัญต่อร่างกายช่วยในการทำงานของระบบประสาทและสมอง จากรายงานวิจัยของ Klongganchui และ Muangthai [7] พบว่า ในปลาสาวยามีปริมาณทอรีน 1137.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปลาอินทรี มีปริมาณทอรีน 490.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารโปรตีนที่อยู่ในเนื้อปลา มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เมื่อรับประทานเข้าสู่ร่างกายแล้วจะสามารถย่อยได้ดี [8] จึงถือได้ว่าเนื้อปลาเป็นแหล่งให้สารโปรตีนที่มีคุณภาพดี จึงเกิดแนวความคิดการทำผลิตภัณฑ์อาหารว่างหรือขนมขบเคี้ยวโดยใช้เนื้อปลาเป็นวัตถุดิบหลัก และมีวัตถุดิบจากธัญพืชมาผสมรวมกันเพื่อช่วยเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการมากยิ่งขึ้น [9] โดยเลือกใช้เมล็ดงาดำในการผลิตเนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระ [10] และกรดไขมัน Oleic และ Linoleic [11] ที่มีส่วนช่วยต่อระบบการทำงานของร่างกาย จากการค้นคว้างานวิจัยเรื่องที่เกี่ยวข้องกับปริมาณปลาในการทำผลิตภัณฑ์ปลาสวรรค์แผ่นกรอบจากปลาหลังเขียวปริมาณเนื้อปลาร้อยละ 80.28 ต่อแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 9.78 [1] และจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลาโดยเนื้อปลาลดร้อยละ 58 แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 38 และเครื่องปรุงรสร้อยละ 4 แล้วเสริมเนื้อฟักทองเพื่อทดแทนแป้งมัน [12] ปริมาณของเนื้อปลาที่ได้จากการรวบรวมผลงานวิจัย เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษา โดยงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปริมาณของเนื้อปลาสาวย เนื้อปลาอินทรี และงาดำในการผลิต ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นกรอบ จากการศึกษาในครั้งนี้ องค์ความรู้ที่ได้สามารถใช้เป็นรูปแบบของการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างกรอบหรือขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ สร้างทางเลือกสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวให้กับผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอาหารที่มีอย่างแพร่หลายในประเทศไทยให้มีมูลค่าเพิ่ม และพัฒนาต่อยอดสู่ระบบเศรษฐกิจได้ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมปลาแผ่นกรอบ

นำปลาสาวย (Pangasianodon hypophthalmus) และปลาอินทรี (Scomberomorus guttatus) ที่มีขนาดน้ำหนักตัวประมาณ 1000-1500 กรัม แลเอาเฉพาะส่วนเนื้อปลา หั่นเป็นชิ้นขนาด ความกว้าง x ยาว เท่ากับ 1 x 1 นิ้ว และให้หนา 0.5 เซนติเมตร ทำความสะอาดเนื้อปลาด้วยวิธีการล้างน้ำเกลือ โดยมีอัตราส่วนของน้ำเกลือดังนี้ น้ำแข็งปริมาณ 600 กรัม น้ำสะอาด 6000 มิลลิลิตร และเกลือป่น 30 กรัม โดยใส่เนื้อปลา 600 กรัม แล้วกวนเนื้อปลาในน้ำเย็น โดยใช้เวลาประมาณ 30 วินาที นำชิ้นจากน้ำ ใส่กล่องพลาสติกมีฝาปิดเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปผลิต เตรียม งาดำ (Sesamun indicum L.) น้ำหนัก 100 กรัม ล้างทำความสะอาด คั่วในกระทะเทพลอนโดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที การผลิตปลาแผ่นกรอบโดยใช้สูตรต้นแบบจากการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีแป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก จากนั้นศึกษาการใช้ปริมาณเนื้อปลาจากปลาสาวย และปลาอินทรี ทดแทนแป้งสาลี ทั้งหมด 2 ระดับ คือ ร้อยละ 80 และ 90 ร่วมกับปริมาณงาดำ 2 ระดับคือ ร้อยละ 5 และ 6 เสริมลงในปริมาณเนื้อปลา โดยนำเนื้อปลาที่เตรียมไว้ผสมกับงาดำ ผงฟู แป้งสาลี น้ำมันรำข้าว น้ำแข็ง เครื่องเทศ และผงปรุงรส (Table 1) ผสมให้เข้ากัน เกลี่ยใส่แผ่นรองอบซิลิโคนแผ่นละ 300 กรัม ขนาดแผ่นละ 25x32 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที จากนั้นตัดเป็นแผ่นขนาด 3x3 เซนติเมตร อบต่อที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

2.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ตามวิธีของ AOAC 2000 [13] หาปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการ คำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ดังนี้ คาร์โบไฮเดรต = 100 - (ปริมาณไขมัน + ปริมาณโปรตีน + ปริมาณเส้นใย + ปริมาณความชื้น + ปริมาณเถ้า) โดย

Table 1 Formulations of fish crackers with striped catfish mackerel and black sesame.

Formulations (%)	Treatments							
	Striped catfish: black sesame				Mackerel: black sesame			
	80:5 S80B5	80:6 S80B6	90:5 S90B5	90:6 S90B6	80:5 M80B5	80:6 M80B6	90:5 M90B5	90:6 M90B6
Striped catfish	47.36	47.19	53.28	53.09	0	0	0	0
Mackerel	0	0	0	0	47.36	47.19	53.28	53.09
Roasted black sesame	2.84	3.19	2.84	3.19	2.84	3.19	2.84	3.19
Wheat flour	11.84	11.80	5.92	5.90	11.84	11.80	5.92	5.90
Rice bran oil	7.89	7.86	7.89	7.86	7.89	7.86	7.89	7.86
Ice	11.84	11.80	11.84	11.80	11.84	11.80	11.84	11.80
Baking powder	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Spice	5.29	5.27	5.29	5.27	5.29	5.27	5.29	5.27
Seasoning	4.26	4.25	4.26	4.25	4.26	4.25	4.26	4.25

ทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ บันทึกผลและคำนวณเฉลี่ยค่าตัวอย่าง

2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ Water Activity (aw) โดยใช้เครื่องยี่ห้อ NOVASINA รุ่น Lab Master-aw โดยทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ บันทึกผลและคำนวณเฉลี่ยค่าตัวอย่าง

2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

2.3.1 วิเคราะห์ดัชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index (WAI)) และดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index (WSI)) ใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก Samard et al. [14] โดยการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ปลา

แผ่นอบกรอบ 1 กรัม ลงในหลอดเหวี่ยงเหวี่ยง (Centrifuge tube) เติมน้ำกลั่น (Distilled water) 25 มิลลิลิตร วางใส่ตะแกรงแล้วนำไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส พร้อมเขย่าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที นำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนของเหลวใสใสในภาชนะ และนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณเป็นร้อยละของค่า WSI นำตัวอย่างที่คงเหลือใน Centrifuge tube ชั่งน้ำหนัก เป็นค่า WAI มีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ WAI (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างส่วนตะกอน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ WSI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ละลายพองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

2.3.2 วิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบโดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus. โดยวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยชุดหัววัด Three Point Bending Rig (HDP/3PB) (Test Speed) 2.00 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางกด 10.00 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยทดสอบจำนวน 10 ซ้ำ บันทึกผลและคำนวณเฉลี่ยค่าตัวอย่าง

2.3.3 วิเคราะห์ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter lab รุ่น Color Quest XE หาค่าสี ความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) จำนวน 10 ซ้ำ

2.4 การศึกษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ

ศึกษาโครงสร้างแบบภาพตัดขวาง (cross section) ของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6610LV ใช้ตัวอย่าง 1 ชิ้นตัดขวาง วางแนวตั้งบนแท่นวาง และนำไปเคลือบทอง (Au) ศึกษาโครงสร้างที่กำลังขยาย 30 เท่า และ 150 เท่า

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Paired Sample T-Test วางแผนแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยรายงานผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±S.D.)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลของปริมาณเนื้อปลาสวาย ปลาอินทรี และงาคำต่อลักษณะปรากฏในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ

ลักษณะปรากฏในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากเนื้อปลาสวาย ปลาอินทรี และงาคำ (Figure 1) มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส แผ่นบางและมีเฉดสีน้ำตาลจากสีของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อปลาอินทรี พบว่ามีสีน้ำตาลเข้มกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อปลาสวาย ผลจากเติมเนื้อปลาลงร้อยละ 80 และร้อยละ 90 ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ ทำให้พื้นผิวด้านหน้าของผลิตภัณฑ์มีลักษณะขรุขระเล็กน้อย ส่วนพื้นผิวด้านหลังของผลิตภัณฑ์พบว่า ปริมาณเนื้อปลาสวายและปลาอินทรีร้อยละ 90 มีผลทำให้เกิดเซลล์อากาศที่มีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ อีกทั้งบางเซลล์อากาศมีการแตกออกจนสามารถมองเห็นเป็นรูพรุน นอกจากนี้ปริมาณของงาคำร้อยละ 5 และ 6 ส่งผลให้พื้นผิวด้านหลังของผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะขรุขระ แต่เมื่อพิจารณาส่วนของด้านหน้าผลิตภัณฑ์ทั้ง 8 สิ่งทดลองจะมองเห็นงาคำได้ไม่ชัดเจน เฉดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบเนื่องจากเนื้อปลาที่เป็นแหล่งของโปรตีน และแป้งสาลี เมื่อถูกให้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) และสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Kaewmanee et al. [15] ที่พบว่า ความร้อนที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลา มีผลทำให้เม็ดแป้งและโปรตีนเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดส่งผลให้ ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอ่อน เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ เกิดจากความร้อนทำให้น้ำที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัวและเกิดแรงดัน ในขณะที่โครงสร้างของผลิตภัณฑ์จะเกิดแรงต้านหรือแรงยึดไม่ให้น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดการพองตัวและมีรูพรุน [16] และจากกรรมวิธีการผลิตปลาแผ่นอบกรอบโดยการนำไปรีดให้เป็นแผ่นบางก่อนนำเข้าอบ จึงทำให้เมล็ดงาคำถูกรีดลงไปอยู่ในส่วนด้านล่างทำให้มองเห็นเมล็ดงาคำด้านหน้าได้ไม่ชัดเจน

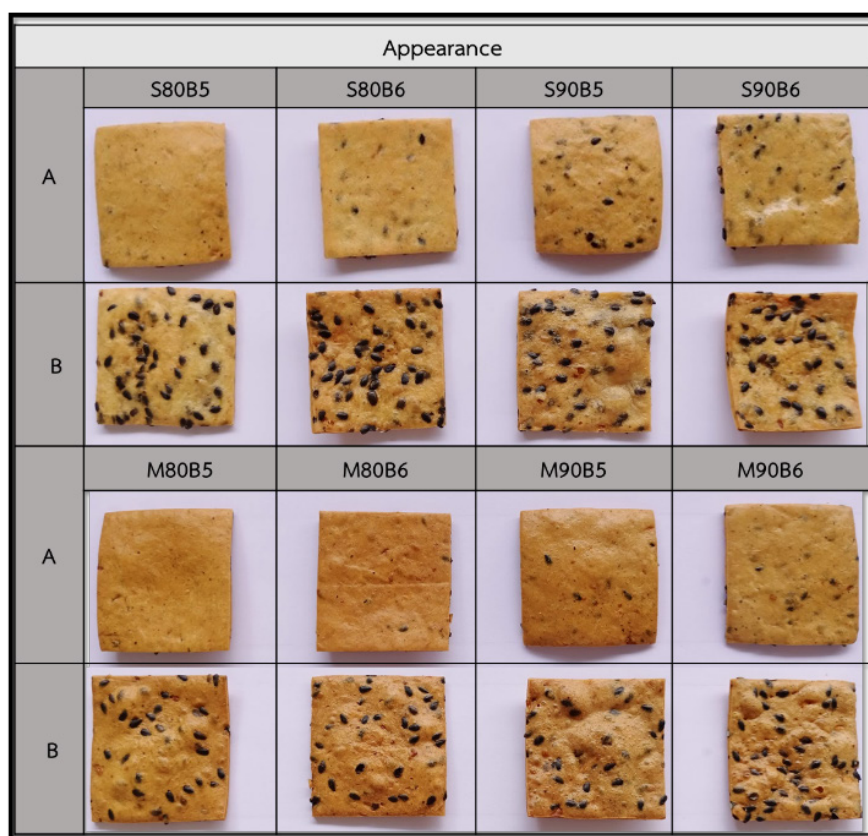


Figure 1 Appearance on the fish crackers in front of (A) and behind (B).

3.2 ผลการศึกษสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมี (Moisture, Fat, Protein, Crude fiber, Ash and Carbohydrate) ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ (Table 2) จากผลการวิเคราะห์ ความชื้น (Moisture) ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบที่ใช้เนื้อปลาสวาย ที่ปริมาณร้อยละ 80 และ 90 ต่อปริมาณงาดำทั้ง 2 ระดับคือ ร้อยละ 5 และ 6 (S80B5, S80B6, S90B5 และ S90B6) มีแนวโน้มที่ไม่แตกต่าง ในขณะที่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากเนื้อปลาอินทรีที่ ปริมาตรร้อยละ 90 มีค่าความชื้นสูงกว่าปลาแผ่นที่ใช้เนื้อปลาอินทรีที่ ปริมาตรร้อยละ 80 เฉพาะเติมปริมาณงาดำเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5 (M80B5) เท่านั้น ผลจากการวิเคราะห์ ปริมาณ

ไขมัน (Fat) ที่สูงที่สุดในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบที่ใช้ เนื้อปลาสวายร้อยละ 90 และงาดำ ร้อยละ 6 จากผลการ วิเคราะห์ไขมัน พบว่า การใช้ปลาสวายในการทำปลาแผ่น อบกรอบมีแนวโน้มที่ปริมาณไขมันจะสูงกว่าการใช้ปลา อินทรีเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณงาดำมาก ขึ้นทำให้ปริมาณไขมันที่ได้จากการวิเคราะห์มากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณเนื้อปลาทั้งสองชนิดจาก ร้อยละ 80 เป็นร้อยละ 90 ในปลาแผ่นอบกรอบที่ระดับ ปริมาณงาดำเท่ากัน ไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณไขมันอย่าง ชัดเจนในทางสถิติ การเติมวัตถุดิบหลักในการผลิตที่ได้ จากเนื้อปลาส่งผลต่อปริมาณไขมันที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ [17-18] โดยไขมันที่ได้รับจากเนื้อปลาจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (Polyunsaturated fatty acid: PUFA) [3-4,19] เป็นกรดไขมันที่ร่างกายไม่สามารถ

Table 2 Proximate composition of fish crackers with striped catfish mackerel and black sesame.

Treatments	Compositions (%)					
	Moisture	Fat	Protein	Crude fiber ^{ns}	Ash	Carbohydrate
S80B5	1.36±0.27 ^{ab}	23.05±1.28 ^{bc}	28.66±1.23 ^c	1.01±0.19	3.76±0.35 ^d	42.14±1.22 ^a
S80B6	0.49±0.36 ^b	24.77±1.18 ^{abc}	30.32±1.26 ^c	1.19±0.65	3.86±0.08 ^{cd}	39.33±1.38 ^a
S90B5	0.90±0.05 ^b	27.59±1.16 ^{ab}	35.66±1.26 ^b	0.91±0.17	4.31±0.03 ^b	30.22±1.10 ^b
S90B6	0.52±0.09 ^b	29.93±0.27 ^a	36.05±1.10 ^b	1.12±0.29	4.33±0.01 ^b	28.40±1.83 ^b
M80B5	0.93±0.53 ^b	21.07±0.74 ^{cd}	34.76±1.24 ^b	0.85±0.24	3.79±0.56 ^{cd}	38.57±1.63 ^a
M80B6	1.37±0.08 ^{ab}	17.56±0.67 ^d	34.69±1.33 ^b	1.19±0.37	4.15±0.01 ^{bc}	41.02±1.98 ^a
M90B5	2.11±1.44 ^a	21.20±0.30 ^{cd}	41.31±1.55 ^a	0.96±0.03	4.86±0.02 ^a	29.53±1.40 ^b
M90B6	1.33±0.35 ^{ab}	26.79±0.71 ^{ab}	40.50±1.25 ^a	1.53±0.52	4.83±0.01 ^a	24.99±1.48 ^b

^{a,b,c,d} Values within the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

^{ns} means within the same column not significantly different ($p > 0.05$)

สังเคราะห์เองได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ซึ่งกรดไขมันดังกล่าวมีส่วนสำคัญต่อการทำงานของระบบประสาทและสมอง อีกทั้งช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด [5] และปริมาณของไขมันที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์มีผลมาจากการเติมกรดไขมันอย่างชัดเจน โดยไขมันที่พบในงาดำเมื่อรับประทานเข้าสู่ร่างกาย ในปริมาณที่เหมาะสมจะส่งผลดีต่อสุขภาพเนื่องจากเป็นแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและมีปริมาณกรดโอเลอิก (Oleic acid) ที่เป็นลักษณะเด่นของไขมันในงาดำ [20] ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Protein) ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ พบว่าการใช้น้ำมันปลาอินทรีย์ที่ปริมาณ ร้อยละ 90 ส่งผลทำให้มีปริมาณโปรตีนในปลาแผ่นอบกรอบสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อลดปริมาณน้ำมันปลาอินทรีย์เป็นร้อยละ 80 มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบลดลง เท่ากับการใช้น้ำมันปลาสดร้อยละ 90 และการลดปริมาณน้ำมันปลาสดลงเป็นร้อยละ 80 มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของงาดำทุกระดับที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ปลาอินทรีย์และปลาสดแผ่นอบกรอบ พบ

ว่า ไม่ส่งผลต่อปริมาณของโปรตีนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์จากผลการทดสอบโปรตีนในผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่าปลาแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนต่างกัน โดยเนื้อปลาอินทรีย์จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเนื้อปลาสด และปริมาณของเนื้อปลาที่เติมลงไปมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Nurul et al. [21] ที่พบว่าผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลาที่มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น การเพิ่มปริมาณของเนื้อปลาและผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลาจากปลาน้ำจืดต่างสายพันธุ์ มีอัตราส่วนของเนื้อปลาต่อแป้งที่ต่างกัน มีผลต่อปริมาณโปรตีน [22] การทำปลาแผ่นอบกรอบในรายงานนี้ มีการเติมน้ำมันปลาอินทรีย์ร้อยละ 80 และ 90 ทำให้เกิดโปรตีนร้อยละ 34.69-34.76 และ 40.50-41.31 เมื่อเติมน้ำมันปลาสดร้อยละ 80 และ 90 ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 28.66-30.32 และ 35.66-36.05 โดย FAO/WHO (Codex Alimentarius) กำหนดให้กำหนดมาตรฐานอาหารให้เป็นมาตรฐานสากล มีข้อกำหนดในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลา (Fish cracker) ที่ผลิตจากปลาทะเลและปลาน้ำจืดที่มี

ปริมาณโปรตีนร้อยละ 12 จะจัดอยู่ในระดับที่ 1 [23] ผลการวิเคราะห์ปริมาณของเยื่อใยอาหาร (Crude fiber) ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากเนื้อปลาสวาย ปลาอินทรี และงาคำ ในแต่ละระดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากเนื้อปลาอินทรี ปริมาณร้อยละ 90 (M90B5 และ M90B6) มีปริมาณเถ้า (Ash) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ในขณะที่ใช้เนื้อปลาสวาย ปริมาณร้อยละ 90 เท่ากันมีปริมาณเถ้ารองลงมาซึ่งมากกว่าการใช้เนื้อปลาอินทรี ที่ร้อยละ 80 ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบเล็กน้อย การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมปริมาณเนื้อปลาอินทรีและปลาสวายในผลิตภัณฑ์ลดลงมีผลทำให้ปริมาณเถ้าในผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย งานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิดที่ร้อยละ 80 ส่งผลให้อิทธิพลของปริมาณงาคำที่มีต่อปริมาณเถ้าแสดงออกมาชัดเจนขึ้น เพราะเมื่อปริมาณงาคำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 6 ทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นด้วย แต่ผลนี้ไม่ได้ชัดเจนเมื่อใช้ปริมาณเนื้อปลาร้อยละ 90 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบซึ่งแปรผันกับปริมาณโปรตีน เมื่อใช้ปลาสวายและปลาอินทรีที่

ปริมาณร้อยละ 90 พบว่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) และเมื่อลดปริมาณเนื้อปลาสวายและปลาอินทรีเป็นร้อยละ 80 ในการผลิตจะส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณของงาคำทุกระดับไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มเนื้อปลา มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ขณะที่การเพิ่มงาคำมีผลทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารว่างเพื่อสุขภาพ

ผลการศึกษาค่าน้ำอิสระ Water activity (aw) ของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ (Table 3) เมื่อใช้เนื้อปลาสวายปริมาณร้อยละ 80 และร้อยละ 90 ต่อปริมาณงาคำทุกระดับ (S80B5 S80B6 S90B5 และ S90B6) พบว่ามีค่า aw ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อปลาอินทรีปริมาณร้อยละ 80 ต่องาคำร้อยละ 5 (M80B5) จากการใช้เนื้อปลาสวายในการผลิตแสดงให้เห็นว่าปริมาณของเนื้อปลาและปริมาณของงาคำ ไม่มีผลทำให้ค่า aw เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อปลาอินทรี

Table 3 Water activity of fish crackers with striped catfish mackerel and black sesame.

Treatments	Water activity (aw)
S80B5	0.28±0.01 ^a
S80B6	0.27±0.01 ^a
S90B5	0.27±0.01 ^a
S90B6	0.26±0.03 ^a
M80B5	0.27±0.00 ^a
M80B6	0.20±0.00 ^{bc}
M90B5	0.22±0.01 ^b
M90B6	0.17±0.02 ^c

^{a,b,c} Values within the same column indicate significant differences ($p\leq 0.05$)

ปริมาณร้อยละ 80 และ 90 ต้องใช้ปริมาณร้อยละ 6 (M80B6 และ M90B6) ค่า aw มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโปรตีนเกิดพันธะกับน้ำ และมีคุณสมบัติอุ้มน้ำ (water holding capacity) ได้ดีกว่าสารอาหารประเภทอื่น ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นปลาอินทรี (M90B5 และ M90B6) มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าตัวอย่างอื่นทำให้ค่า aw สูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบทั้ง 8 สิ่งทดลองมีค่า aw ไม่เกิน 0.6 ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนการผลิตปลาแผ่นกรอบกำหนด [24] และสอดคล้องกับรายงานของ Aedtem et al. [1] ที่พบว่าผลิตภัณฑ์ปลาสวรรค์แผ่นกรอบจากปลาหลังเขียวมีค่า aw ไม่เกิน 0.6 และอยู่ในช่วง 0.41-0.45 ซึ่งค่า aw ถือเป็นปัจจัยในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหารและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ การสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ [24]

3.3 ผลการศึกษาดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ (Table 4) พบว่า การใช้เนื้อปลาอินทรีปริมาณร้อยละ 80 และ 90 ทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาการเติมงาดำปริมาณร้อยละ 5 มีอิทธิพลทำให้ค่าดัชนีการดูดซับน้ำสูงขึ้นมากกว่าการใช้งาดำที่ปริมาณร้อยละ 6 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการใช้เนื้อปลาสวายปริมาณร้อยละ 80 และ 90 พบว่า ค่าดัชนีการดูดซับน้ำในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบไม่แตกต่างกัน เนื่องจากดัชนีการดูดซับสามารถบอกถึงระดับของการทำอาหารให้สุก หรือการคืนสภาพของวัตถุดิบจากธัญพืชเมื่ออยู่รวมกับน้ำโดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต [25] อย่างไรก็ตามการใช้เนื้อ

Table 4 Water absorption index (WAI) and Water solubility index (WSI) of fish crackers with striped catfish mackerel and black sesame.

Treatments	WAI (g/g)	WSI (%)
S80B5	3.31±0.07 ^a	26.86±2.57 ^{bc}
S80B6	3.35±0.05 ^a	27.12±0.57 ^{bc}
S90B5	3.09±0.38 ^{ab}	31.53±0.85 ^{ab}
S90B6	3.34±0.21 ^a	32.74±2.64 ^a
M80B5	3.28±0.22 ^{ab}	22.87±3.92 ^c
M80B6	3.05±0.23 ^b	23.86±2.04 ^c
M90B5	3.04±0.15 ^{ab}	22.89±3.37 ^c
M90B6	2.90±0.08 ^b	23.24±3.86 ^c

^{a,b,c} Values within the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

ปลาสาวยในการผลิตปลาแผ่นอบกรอบ มีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำ (WAI) ค่อนข้างที่จะดีกว่า การใช้เนื้อปลาอินทรีในทุกตัวอย่าง ยกเว้นการใช้เนื้อปลาสาวยและปลาอินทรีที่ระดับเนื้อปลาร้อยละ 90 และงาดำร้อยละ 5 (S90B5 และ M90B5) มีค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ที่ไม่แตกต่างกัน ค่า WAI เป็นค่าที่บ่งบอกถึงดัชนีการเกิดเจลของแป้ง (gelatinization) การเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนทำให้สัดส่วนของแป้งในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบที่ทำจากปลาสาวยลดลง ซึ่งส่งผลต่อการเกิดเจลของแป้งในผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย [26] ผลจากการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้เนื้อปลาสาวยจากร้อยละ 80 เป็นร้อยละ 90 ส่งผลให้มีค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาแผ่นอบกรอบที่ใช้ปริมาณปลาสาวยสูง ในขณะที่ผลจากการใช้เนื้อปลาอินทรีในทุกตัวอย่างมีความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) ไม่แตกต่างกัน ผลจากการเติมงาดำร้อยละ 5 ลงในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากเนื้อปลาสาวยที่ปริมาณร้อยละ 90 พบว่าปริมาณงาดำที่ลดลงอาจมีผลต่อดัชนีการละลายน้ำลดลงทั้งนี้ดัชนีการละลายน้ำที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ปลา แผ่น

อบกรอบเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการละลายของสารชีวโมเลกุล (Biomolecule) จำพวกโปรตีน แป้ง และเส้นใยที่ละลายน้ำได้ [25] โดยสารโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อปลาสาวย และเนื้อปลาอินทรี เมื่อถูกนำมาใช้ในการผลิตปลาแผ่นอบกรอบ อาจเกิดการสูญเสียสภาพของโครงสร้างโปรตีน (Protein denaturation) จากความร้อน [27] ในระหว่างการนำเข้าเตาอบ ทำให้โปรตีนละลายออกมาในน้ำได้มาก WSI จึงมีค่าสูงขึ้น

3.4 ผลการศึกษาค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ

ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness) ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ (Table 5) พบว่า ปลาแผ่นอบกรอบที่ทำจากปลาอินทรี ปริมาณร้อยละ 90 และงาดำร้อยละ 6 (M90B6) มีความแข็งสูงที่สุด เมื่อลดปริมาณเนื้อปลาอินทรีในการผลิตปลาแผ่นอบกรอบลงเป็นร้อยละ 80 ส่งผลต่อค่าความแข็งที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นจากการใช้งาดำ พบว่า ปริมาณงาดำร้อยละ 6 มีผลต่อค่าความแข็งที่สูงขึ้นในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นทั้งสองชนิดที่ระดับปริมาณเนื้อปลาเท่ากัน และการใช้เนื้อปลาสาวยและงาดำในปริมาณน้อย

Table 5 Physical properties of fish crackers with striped catfish mackerel and black sesame.

Treatments	Hardness (N)	Colors		
		L*	a*	b*
S80B5	8.70 ±0.24 ^e	59.09±0.90 ^b	8.79±0.15 ^b	29.31±1.04 ^a
S80B6	11.81±1.66 ^d	60.21±0.29 ^b	8.24±0.56 ^b	29.09±1.07 ^{ab}
S90B5	12.03±0.95 ^d	59.28±0.64 ^b	7.31±0.89 ^c	27.67±0.65 ^{bc}
S90B6	13.77±0.34 ^{bcd}	61.96±0.59 ^a	6.76±0.28 ^c	25.95±0.61 ^{de}
M80B5	11.30±1.61 ^d	56.90±1.18 ^c	8.75±0.13 ^b	28.75±0.35 ^{ab}
M80B6	12.70±0.57 ^{cd}	56.29±0.45 ^{cd}	9.91±0.64 ^a	28.60±0.32 ^{ab}
M90B5	14.77±0.28 ^b	55.23±0.04 ^d	9.04±0.44 ^b	26.68±1.01 ^{cd}
M90B6	17.44±0.42 ^a	55.64±0.71 ^d	7.26±0.14 ^c	24.57±0.97 ^e

^{a,b,c,d,e} Values within the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

ที่สุด (S80B5) จะมีผลทำให้ค่าความแข็งลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตัวอย่าง ค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโปรตีนที่แตกต่างกันในสายพันธุ์ปลาแต่ละชนิดที่ใช้ในการผลิต [15] เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อปลา ส่งผลกับค่าความแข็งที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างผลิตภัณฑ์ โดยโปรตีนของเนื้อปลาไปทำการขัดขวางการขยายตัวของเม็ดแป้ง [28] และสอดคล้องกับ Noorakmar et al. [26] ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เติมเนื้อปลาปริมาณร้อยละ 40 มีผลทำให้ค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้นและมีค่าความแข็งมากกว่าการใช้เนื้อปลาร้อยละ 30

3.5 ผลการศึกษาค่าสีของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* และ b^* ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ (Table 5) พบว่า ปลาแผ่นอบกรอบที่ทำด้วยเนื้อปลาสวายร้อยละ 90 และงาดำร้อยละ 6 (S90B6) มีค่าความสว่างมากที่สุด และผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากเนื้อปลาสวายค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากเนื้อปลาอินทรีในทุกตัวอย่าง ยิ่งไปกว่านั้นการใช้เนื้อปลาอินทรีเพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความสว่างที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในส่วนปริมาณของงาดำที่ถูกเติมลงไปไม่ได้แสดงอิทธิพลหรือแนวโน้มต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L^*) อย่างชัดเจน ผลวิเคราะห์ค่าสีแดง (a^*) ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ พบว่า ค่าสีแดง (a^*) สูงที่สุดเมื่อปริมาณเนื้อปลาอินทรีร้อยละ 80 และปริมาณงาดำร้อยละ 6 (M80B6) และค่าสีแดงต่ำสุดในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากปลาอินทรีร้อยละ 90 และงาดำร้อยละ 6 (M90B6) อย่างไรก็ตามการใช้เนื้อปลาสวายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80 เป็นร้อยละ 90 มีผลทำให้ค่าสี a^* ลดลง ในขณะที่อิทธิพลของปริมาณงาไม่ส่งผลต่อการเกิดค่าสี a^* จากการวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (b^*) ในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเนื้อปลาทั้งสองสายพันธุ์เป็นร้อยละ 90 และเติมปริมาณงาดำ (ร้อยละ 6) ส่งผลให้ค่าสีเหลือง (b^*) ลดลงต่ำมากที่สุด อย่างไรก็ตามอิทธิพลจากชนิดของเนื้อปลาสวายและปลาอินทรีไม่ได้แสดงแนวโน้มการ

เปลี่ยนแปลงของค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) อย่างชัดเจน ค่าความสว่างในผลิตภัณฑ์ปลาอินทรีแผ่นอบกรอบมีค่าลดลง เพราะปริมาณโปรตีนในเนื้อปลาอินทรีมีมากกว่าส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) มากกว่าในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจากปลาสวาย และประเภทของเนื้อปลาที่แตกต่างกันนั้นอาจส่งผลต่อค่าสีที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลา [17, 21] ด้วย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากปลาสวายมีเนื้อสีอ่อน ในขณะที่เนื้อปลาอินทรีมีสีชมพูจากไมโอโกลบิน (Myoglobin) และฮีโมโกลบินที่เป็นส่วนประกอบภายในเนื้อสัตว์ที่มีสีเข้ม [15, 29-30]

3.6 ผลการศึกษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบ

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบโดยใช้กล้องขยาย 30 เท่าและ 150 เท่า (Figure 2) จากภาพแสดงให้เห็นว่าปลาแผ่นอบกรอบจากเนื้อปลาสวายและปลาอินทรีที่ปริมาณร้อยละ 80 ด้วยกล้องขยาย 30 เท่า มีโครงสร้างภายในเกิดมีเซลล์อากาศขนาดเล็กละเอียดอัดแน่น ในขณะที่การใช้ปริมาณเนื้อปลาสวายและปลาอินทรีเพิ่มปริมาณเป็นร้อยละ 90 จะมีผลต่อโครงสร้างภายในทำให้มีเซลล์อากาศเพิ่มขึ้นขนาดใหญ่ขึ้น และเซลล์อากาศมีขนาดสม่ำเสมอมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณเนื้อร้อยละ 80 ซึ่งผลตรงข้ามกับรายงานวิจัยของ Noorakmar et al. [26] พบว่า ผลของการใช้เนื้อปลาในปริมาณน้อยและใช้ปริมาณแป้งสูงกว่าส่งผลให้เกิดเซลล์อากาศขนาดใหญ่ในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลาเมื่อใช้กล้องขยาย 150 เท่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบที่ใช้ปริมาณเนื้อปลาร้อยละ 90 จะพบว่า สายพันธุ์ของเนื้อปลาที่ใช้ในการผลิตมีอิทธิพลต่อรูปร่างของเซลล์อากาศและผนังเซลล์ที่เกิดขึ้น โดยเมื่อใช้เนื้อปลาสวายในการผลิต จะสามารถมองเห็นเซลล์อากาศที่เกิดขึ้นมีรูปร่างกลมและมีผนังเซลล์บาง แต่เมื่อใช้เนื้อปลาอินทรีในการผลิตปลาแผ่นอบกรอบเซลล์อากาศที่เกิดขึ้นจะมีรูปร่างทั้งกลมและรี มีผนังเซลล์ค่อนข้างหนา และเกิดรอยแตกเป็นเซลล์อากาศขนาดใหญ่และลึกซึ่งอาจ

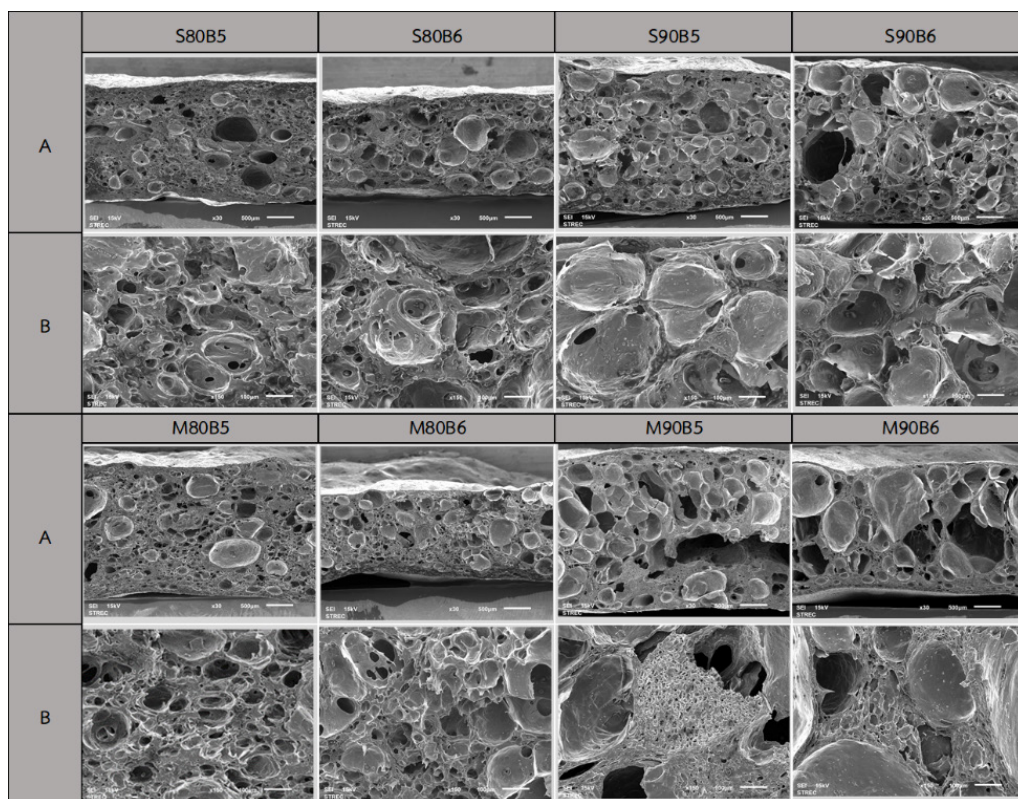


Figure 2 Scanning electron micrograph (SEM) of the cross-section fish crackers 30x magnification (A) and 150x magnification (B) .

เกิดจากอิทธิพลของปริมาณงาดำร่วมด้วยและยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อปลาอินทรีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90 จะมีโครงสร้างภายในบางพื้นที่เกิดเป็นร่างแหของโปรตีนที่เกาะกันเป็นก้อนทำให้พื้นที่ส่วนดังกล่าวมีการเกิดเซลล์อากาศลดลง โดยสามารถสังเกตเห็นได้จากกำลังขยาย 150 เท่า ทั้งนี้จากโครงสร้างภายในของปลาแผ่นอบกรอบที่มีการเกิดเซลล์อากาศ เนื่องจากความหนาแน่นของเนื้อโปรตีนที่เข้าไปห่อหุ้มเม็ดแป้งและน้ำไว้ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเจลลิตไนซ์ (gelatinization) [31] โดยโปรตีนของเนื้อปลา และกลูเตนในแป้งสาลีที่หุ้มน้ำไว้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วด้วยแรงดันไอน้ำ [15] สามารถขยายตัวโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเติมผงฟูจึงทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุน หรือเซลล์

อากาศ ทั้งนี้ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบจะได้รับอิทธิพลมาจากขนาดของรูที่กระจายตัวอยู่และความหนาของผนังเซลล์ที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างผลิตภัณฑ์ [15] โดยปลาแผ่นอบกรอบที่มีเซลล์อากาศใหญ่จะมีการพองตัวได้มากกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นอบกรอบที่มีเซลล์อากาศเล็ก แต่อย่างไรก็ตามปลาแผ่นอบกรอบที่มีปริมาณของเนื้อปลามาก ทำให้เกิดความแข็งมากกว่า เนื่องจากโปรตีนเกิดการเสียสภาพแข็งตัว (Protein Denaturation) อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน สอดคล้องกับรายงานของ Sukjantra and Tayeh [12] การเพิ่มปริมาณเนื้อฟักทองลงในส่วนผสมแค็กเกอร์ปลา

4. สรุป

ผลการศึกษาปริมาณของเนื้อปลาสวาย ปลาอินทรี และงาดำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบมีเดทสีน้ำตาล เมื่อปริมาณเนื้อปลาสวายและเนื้อปลาอินทรีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90 จากลักษณะที่ปรากฏของพื้นผิวด้านหลังของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบเกิดเซลล์อากาศที่มีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ จากการวิเคราะห์สารโปรตีนและไขมันในผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบที่ใช้ปริมาณเนื้อปลาร้อยละ 90 และงาดำทุกระดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาสวายให้โปรตีนร้อยละ 35.66-36.05 และมีปริมาณไขมันที่ร้อยละ 27.59-29.93 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาอินทรี มีปริมาณโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 40.50-41.31 และไขมันร้อยละ 21.20-26.79 ผลของค่าน้ำอิสระ (aw) ของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบอยู่ในช่วง 0.17-0.28 ไม่เกิน 0.6 เป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร ผลของค่าการดูดซับ (WAI) สูงขึ้น เมื่อใช้เนื้อปลาอินทรีต่อปริมาณงาดำที่ลดลงเป็นร้อยละ 5 จากการใช้เนื้อปลาสวายในการผลิตปลาแผ่นอบกรอบทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น ผลของค่าการละลายน้ำ (WSI) ลดลงเมื่อใช้เนื้อปลาอินทรีในการผลิต ในขณะที่ใช้เนื้อปลาสวายปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90 ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น ปริมาณเนื้อปลาอินทรีและงาดำที่เพิ่มขึ้น (M90B6) ทำให้มีค่าความแข็งสูงสุด โดยเนื้อปลาสวายที่ใช้ในการผลิตปลาแผ่นอบกรอบมีแนวโน้มค่าความสว่าง (L*) สูงกว่าการใช้เนื้อปลาอินทรี ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ลดลงเมื่อใช้เนื้อปลาสวายและปลาอินทรีที่ร้อยละ 90 ต่อปริมาณงาดำร้อยละ 6 (S90B6 และ M90B6) ปริมาณของเนื้อปลาที่เพิ่มขึ้น มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบทำให้เกิดเซลล์อากาศที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น ผลที่ได้จากการวิจัยผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นอบกรอบโดยใช้เนื้อปลาสวายเนื้อปลาอินทรี และงาดำ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น สามารถใช้เป็นอาหารทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยเรื่องนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขาทุนวิจัยเกษตรศาสตร์ และชีววิทยา อีกทั้งได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ (สรบ.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ให้ใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยกลุ่มเกษตรแปรรูปและอาหารเชิงหน้าที่พร้อมเครื่องมือ ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณ คุณจิรายุทธ อนันต์เกษมสุข ที่ช่วยเตรียมตัวอย่างจนทำให้งานวิจัยบรรลุความสำเร็จ

6. References

- [1] Aedtem, P., Yamirudeng, K. R. and Sukjuntra, J. (2019). Product development of fish chips from Goldstripe sardinella (*Sardinella gibbosa*). YRU Journal of Science and Technology. 4(2): 113-121. (in Thai).
- [2] Sanom, P. and Jangchud, K. (2020). Effect of cricket (*Acheta Domesticus*) powder, soy protein isolate and xanthan gum on the qualities of rice flour-based cookies. RMUTP Research Journal. 14(2): 72-84. (in Thai).
- [3] Sudirman, S., Herpandi., Lestari, S.D. and Andayani, W. (2018). Effects of weight and body parts of Siamese catfish (*Pangasius hypophthalmus*) on the nutritional content. Food Research. 2(4): 307-313.
- [4] Moini, S., Khoshkhoo, Zh. and Hemati Matin, R. (2012). The fatty acids profile in Mackerel (*Scomberomorus guttatus*) and

- its shelf life in cold storage at -18°C. *Global Veterinaria*. 8(6): 665-669.
- [5] Shabani Kakroodi, S., Christianus, A., Tan, C.P., Che Man, Y.B. and Ehteshami, F. (2014). Proximate and fatty acid composition of liver and fatty tissue of patin catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 13(3): 541-549.
- [6] Siriwardhana, N., Kalupahana, N. S. and Moustaid-Moussa, N. (2012). Health benefits of n-3 polyunsaturated fatty acids: eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid. *Advances in Food and Nutrition Research*. 65: 211-222.
- [7] Klongnganchui, K. and Muangthai, P. (2016). Simultaneous analysis of taurine and histamine in fishes samples. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*. 4(3): 148-150.
- [8] Rustad, T. (2003). Utilization of marine by-products. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 2(4): 458-463.
- [9] Aparna, K., Lakshmi Devi, N. and Kalpana, K. (2013). Utilization of fish powder in ready-to-eat extruded snacks. *Fishery Technology*. 50: 245-250.
- [10] Furumoto, T. and Nishimoto, K. (2016). Identification of a characteristic antioxidant, anthrasesamone F, in black sesame seeds and its accumulation at different seed developmental stages. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 80(2): 350-355.
- [11] Corso, M.P., Fagundes-Klen, M.R., Silva, E.A., Filho, L.C., Santos, J. N., Freitas, L.S. and Dariva, C. (2010). Extraction of sesame seed (*Sesamun indicum* L.) oil using compressed propane and supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*. 52: 56-61.
- [12] Sukjantra, J. and Tayeh, N. (2018). Development of fish cracker from surimi supplemented with pumpkin. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*. 4 (Spcl. Iss.): 122-128.
- [13] AOAC. (2000). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist. 17th ed. Washington, D.C.
- [14] Samard, S., Singkhornart, S. and Ryu, G-H. (2017). Effects of extrusion with CO₂ injection on physical and antioxidant properties of cornmeal-based extrudates with carrot powder. *Food Science and Biotechnology*. 26(5): 1301-1311.
- [15] Kaewmanee, T., Karrila, T.T. and Benjakul, S. (2015). Effect of fish species on the characteristics of fish cracker. *International Food Research Journal*. 22(5): 2078-2087.
- [16] Wasasiri, S., Runglerdkriangkrai, J. and Pansawat, N. (2015). Screening of factors affecting snakeskin gourami (*Trichogaster pectoralis*) fish chips prepared by using conveyor oven and microwave oven. *The Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics*, pp 1227-1235. February 3-6, 2015. Bangkok. Thailand.

- [17] Nurul, H., Leng, A. L., Yee, C. X. and Herpandi. (2010). Chemical composition, colour and linear expansion properties of Malaysian commercial fish cracker (keropok). *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 3(05): 473-482.
- [18] Cortez Netto, J. P., Oliveira Filho, P.R.C., Lapa-Guimaraes, J. and Viegas, E. M. M. (2014). Physicochemical and sensory characteristics of snack made with minced Nile tilapia. *Food Science and Technology*. 34(3): 591-596.
- [19] Izci, L. and Bilgin, S. (2015). Sensory acceptability and fatty acid profile of fish crackers made from *Carassius gibelio*. *Food Science and Technology*. 35(4): 643-646.
- [20] Borchani, C., Besbes, S., Blecker, Ch. and Attia, H. (2010). Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 12 (5): 585-596.
- [21] Nurul, H., Boni, I. and Noryati, I. (2009). The effect of different ratios of Dory fish to tapioca flour on the linear expansion, oil absorption, colour and hardness of fish crackers. *International Food Research Journal*. 16: 159-165.
- [22] Zzaman, W., Yusoff, M.M. and Yang, T.A. (2017). Preparation and properties of fish cracker from different freshwater fish species. *International Food Research Journal*. 24(5): 1858-1862.
- [23] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and World Health Organization (WHO). (2018). *Codex Alimentarius*. International Food Standards. CXS 222-2001: Standard for Crackers from Marine and Freshwater Fish, Crustaceans and Molluscan Shellfish.
- [24] Thai Industrial Standards Institute. (2005). Thai community products standards 1040/2548: Fish cracker. Bangkok: TISI, Ministry of Industry. (in Thai)
- [25] Sharma, C., Singh, B., Hussain, S.Z. and Sharma, S. (2017). Investigation of process and product parameters for physicochemical properties of rice and mung bean (*Vigna radiata*) flour based extruded snacks. *Journal of Food Science and Technology*. 54(6): 1711-1720.
- [26] Noorakmar, A. W., Cheow, C. S., Norizzah, A. R., Mohd Zahid, A. and Ruzaina, I. (2012). Effect of orange sweet potato (*Ipomoea batatas*) flour on the physical properties of fried extruded fish crackers. *International Food Research Journal*. 19(2): 657-664.
- [27] Skipnes, D., Van der Plancken, I., Van Loey, A. and Hendrickx, M. E. (2008). Kinetics of heat denaturation of proteins from farmed Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Journal of Food Engineering*. 85: 51-58.
- [28] Baishak, N. N., Islam, M. R., Moazzem, M. S., Ahmad, I. and Zzaman, W. (2020). Quality evaluation of nutritious fish crackers developed from three carp fish

- species. Asian Food Science Journal. 17(1): 15-23.
- [29] Hatachote S., Sripairoj K., and Na-Nakorn U. (2015). Growth and Flesh Quality of the Hybrid between *Pangasianodon hypophthalmus* and *Pangasius bocourti*. Kasetsart Journal (Natural Science). (49): 717-725
- [30] Huang C-H, Lin C-S, Lee Y-C, Ciou J-W, Kuo C-H, Huang C-Y, Tseng C-H and Tsai Y-H. (2022). Quality Improvement in Mackerel Fillets Caused by Brine Salting Combined with High-Pressure Processing. Biology. 11(9):1307
- [31] Mardiah, A., Huda, N., and Ahmad, R. (2010). A Study on the physicochemical properties, microstructure and sensory characteristics of fish flakes. Journal of Fisheries and Aquatic Science. 5(6): 469-482.