วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.1) January – April 2022 บทความวิจัย

ผลของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของเศษเนื้อปลาแซลมอนบดแช่เยือกแข็ง

Effect of Basil Seed Gum Powder on Quality of Frozen Salmon Mince from Salmon Trimming

รัตนวลี พรามนัติ, พรทิพย์ ศิริสุนทรา ลักษณ์ และ นันทรัตน์ ณ นครพนม*

Rattanawalee Pharmmanat, Porntip Sirisoontaralak and Nantarat Na Nakornpanom[1*]

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Food Science and Nutrition Division, Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University

Received : 18 April 2021

Revised : 1 July 2021

Accepted : 19 July 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของเศษเนื้อปลาแซลมอนบดแช่เยือกแข็ง โดยเตรียมเนื้อปลาบดที่มีผงเมือกความเข้มข้นต่างๆ (ร้อยละ 0-0.4 ของน้ำหนักเนื้อปลาบด) และขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก จากนั้นเก็บรักษาที่ -20 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก พบว่า ผงเมือกมีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูง (98.25±3.2 กรัมต่อกรัม) ส่งผลให้เนื้อปลาบดที่มีผงเมือกมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างแช่เยือกแข็งน้อยกว่าสูตรปกติ ($p<0.05$) เนื้อปลาบดที่มีผงเมือกมากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักเนื้อปลาบด มีค่าการสูญเสียของเหลวจากการละลายและทำให้สุกลดลงถึงแม้เก็บรักษานาน 30 วัน ค่าสีและค่าความแข็งของเนื้อปลาบดขึ้นรูปไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) ความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงเมือก ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามเนื้อปลาบดที่มีผงเมือกร้อยละ 0.3 และ 0.4 มีการแยกตัวของน้ำมันหลังละลายซ้ำ (3 รอบ) มากกว่าเนื้อปลาบดที่มีผงเมือกร้อยละ 0.2 งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าผงเมือกจากเมล็ดแมงลักเพิ่มความสามารถในการกักเก็บของเหลวในเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็งและความเข้มข้นของผงเมือกที่เหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเนื้อปลา

คำสำคัญ : การแช่เยือกแข็ง ; ความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลาย ; เมือกจากเมล็ดแมงลัก ; เศษเนื้อปลาแซลมอน

Abstract

This study investigated the effects of Basil seed gum (BSG) on the quality of frozen salmon mince from salmon trimming. Fish mince with basil seed gum at different concentrations (0-0.4% of fish mince weight) were prepared and formatted in a cylindrical shape. All samples kept in the freezer at -20°C for 30 days. Physical properties of BSG were evaluated. The results showed that BSG had high water-holding capacity (98.25±3.2 g/g BSG). Therefore, fish mince with BSG had less weight loss during freezing than control ($p<0.05$). Thawing loss and cooking loss of the fish mince were decreased when the concentration of BSG was greater than 0.1% of fish mince weight, although they were storage for 30 days ($p<0.05$). There was no significant different in the color and hardness value of cooked fish minces ($p\geq0.05$). Freeze-Thaw stability increased with increasing BSG content ($p<0.05$). However, Fish mince with 0.3 and 0.4% BSG had higher the amount of oil released during thawing (3 cycles) than those containing 0.2% BSG. The results suggested that the BSG plays an important role in improving the water holding capacity of frozen fish mince and BSG content was not above 0.2% of mince weight.

Keywords : freezing ; freeze-thaw stability ; basil seed gum ; salmon trimming

***Corresponding author. E-mail** : nantarat@g.swu.ac.th

บทนำ

ปลาแซลมอน (Atlantic salmon) เป็นปลาที่นิยมรับประทานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มคนที่ใส่ใจต่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์ปลาแซลมอนที่ได้รับความนิยม คือ เนื้อปลาแซลมอนตัดแต่ง (salmon fillets) ผลจากการตัดแต่งทำให้มีเศษเนื้อ (Trimming) เป็นส่วนเหลือในปริมาณมาก โดยคิดเป็นร้อยละ 40.99±3.26 ของปริมาณส่วนเหลือทั้งหมด และจากการที่เศษเนื้อเหล่านี้มีโปรตีน ไขมันและกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวชนิดโอเมกา 3 ได้แก่ eicosapentaenoic acid (20:*5n*-3) และ docosahexaenoic acid (22:*6n*-3) (Stevens *et al*., 2018) เศษเนื้อปลาเหล่านั้นจึงถูกนำมาใช้แปรรูปเพื่อใช้เพิ่มคุณประโยชน์แก่อาหาร เช่น ใช้เป็นแหล่งโอเมกา 3 ในขนมขบเคี้ยว (Kong *et al*., 2012) และนำมาย่อยเพื่อผลิตเป็นโปรตีนไฮโดรไลเซท (Harnedy *et al*., 2018) เป็นต้น การนำเนื้อปลามาบดและขึ้นรูปสำหรับทำเบอร์เกอร์และฟิชเค้ก (fishcake) เป็นอีกแนวทางที่ใช้เพิ่มมูลค่าของเนื้อปลาที่มีคุณภาพน้อย (Gonçalves & Passos, 2010) เนื้อปลาแซลมอนมีความชื้นสูงจึงเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ง่าย การเปลี่ยนสถานะของน้ำให้เป็นของแข็งด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freezing) เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ยืดอายุการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง (Alizadeh *et al*. 2007; Yu *et al*., 2018) ตู้แช่เยือกแข็งที่พบในท้องตลาดมีราคาไม่แพงส่งผลให้ธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมนำมาใช้เตรียมและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ แต่ด้วยอาศัยการหมุนเวียนของอากาศเย็นแบบธรรมชาติภายในตู้ (still air freezer) จึงเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ในช่วงต้นของการแช่เยือกแข็ง (20 นาที) เนื้อปลาบดมีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 5 จากน้ำหนักเริ่มต้น การสูญเสียน้ำหนักเป็นผลจากการแยกตัวของน้ำและน้ำมันจากชิ้นอาหาร รวมทั้งผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำในระหว่างละลายและการทำให้สุกลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นผลจากการการฉีกขาดของเนื้อเยื่อเนื่องจากการบดทำให้ส่วนของเหลวในเนื้อปลาแยกตัวออกมาง่าย ปริมาณน้ำที่อยู่บริเวณช่องว่างของเซลล์หรือชิ้นอาหารและระยะเวลาในการเก็บรักษาสัมพันธ์กับขนาดของผลึกน้ำแข็ง (Cameron *et al*., 1985; Hagiwara *et al*., 2003) เซลล์เนื้อเยื่อเสียหายมากขึ้นเมื่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ (Ngapo *et al*.,1999) การสูญเสียส่วนของเหลวไม่เพียงส่งผลต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ยังมีต่อคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นการลดการสูญเสียส่วนของเหลวจากเนื้อปลาบดในระหว่างขึ้นรูปและแช่เยือกแข็ง รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บของเหลวในระหว่างละลายและทำให้สุกจึงเป็นสิ่งสำคัญ การเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งสามารถทำได้โดยการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ (Montero *et al*., 2000) ปัจจุบันผู้บริโภคต้องการวัตถุเจือปนอาหารจากธรรมชาติมากขึ้น การใช้เมือกจากเมล็ดแมงลักในการปรับปรุงคุณภาพจึงเป็นสิ่งที่สนใจในงานนี้

เมือกจากเมล็ดแมงลัก (Basil seed gum) เป็นมิวซิเลจหรือพอลิแซคคาไรด์ที่เกิดจากขบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ที่แยกได้จากเมล็ดแมงลัก (*Ocimum americanum L*.) หลังจากแช่น้ำ (Jani *et al*., 2009) การสกัดเมือกจากเมล็ดแมงลักไม่ต้องใช้สารเคมีและมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่หลากหลาย ได้แก่ ดูดซับน้ำ เพิ่มความหนืด รักษาความคงตัวของอิมัลชันและเกิดเจล (Naji-Tabasi & Razavi, 2017) จึงได้รับความสนใจมากในปัจจุบันและมีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น การปรับปรุงโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของเนยแข็ง (Hosseini-Parvar *et al*., 2015) การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมเค้ก (Song *et al*., 2017) การเพิ่มการยึดจับน้ำและทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Lee & chin, 2017, Saengphol & Pirak, 2019) และลดขนาดของผลึกน้ำแข็งในอาหารแช่เยือกแข็ง เนื่องจากความหนืดของเมือก

จากเมล็ดแมงลักมีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำและมีส่วนช่วยลดการเคลื่อนที่ของน้ำส่งผลให้สามารถควบคุมขนาดของผลึกน้ำแข็งในระหว่างแช่แข็ง (Hosseini-Parvar *et al.* , 2010; Zeymali *et al.*, 2019)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการใช้ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของเนื้อปลาแซลมอนบดแช่เยือกแข็ง โดยเนื้อปลาที่ใช้เป็นเศษเนื้อปลาแซลมอน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลาแซลมอนบดระหว่างการเก็บรักษา (-20 องศาเซลเซียส) นาน 1, 15 และ 30 วัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก

ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักเตรียมโดยนำเมล็ดแมงลัก (ตราไร่ทิพย์, บริษัท ไร่ธัญญะ จำกัด, ประเทศไทย) มาล้างน้ำและแช่ในน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างเมล็ดแมงลักและน้ำเท่ากับ 1:67 (w/w) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Nazir *et al.* (2017) เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำเมล็ดแมงลักที่พองตัวไปปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม (Electrolux, EBR3646, ประเทศไทย) ใช้ความเร็วระดับปานกลาง (เบอร์ 2) นาน 1 นาที แยกส่วนเมือกออกจากเมล็ดโดยนำมาบีบผ่านผ้าขาวบาง นำเมือกที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง บดเพื่อลดขนาดและเก็บในถุงพอลิโพพิลีนปิดผนึกให้สนิท เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)

การเตรียมเศษเนื้อปลาแซลมอนบด

เศษเนื้อปลาแซลมอนบดเตรียมโดยนำเศษเนื้อปลาแซลมอนที่ซื้อจากตลาดขนาดบรรจุถุงละ 500 กรัม มาเลาะเอาแต่ส่วนเนื้อและนำเนื้อที่ได้ไปล้างด้วยน้ำเย็น (4 องศาเซลเซียส) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเนื้อปลาบดและน้ำเท่ากับ 1:3 (w/v) (Yoon *et al.*, 2017) จนไม่มีกลิ่นคาว เศษเนื้อปลาแซลมอนที่ซื้อจากตลาดถูกควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสด้วยการบรรจุในกล่องโฟมที่มีน้ำแข็งเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างขนส่ง การล้างเนื้อปลานอกจากเป็นการลดกลิ่นคาวยังช่วยชะโปรตีนในกลุ่มซาร์โคพลาสมิกโปรตีน ได้แก่ เอนไซม์ และฮีโมโกลบิน เป็นต้น เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาในระหว่างแปรรูป นำเนื้อปลาที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดเนื้อ (รุ่น TK-12, Kitchen Mall, ไต้หวัน) รังผึ้งสแตนเลสขนาดรูเปิด 5.5 มิลลิเมตร

การเตรียมเศษเนื้อปลาแซลมอนขึ้นรูปแช่เยือกแข็งที่มีผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก

เตรียมโดยนำเนื้อปลาแซลมอนบดมาเติมผงเมือกจากเมล็ดแมงลักร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 (w/w) คลุกเคล้าให้เข้ากัน ทำการขึ้นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และความหนา 2.0 เซนติเมตร โดยแต่ละก้อนกำหนดให้มีน้ำหนักประมาณ 15 กรัม นำไปบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนที่ทราบน้ำหนักแยกทีละชิ้น และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส (HCF108C, Haier, ประเทศไทย) นาน 1 เดือน โดยสุ่มตรวจวัดค่าคุณภาพในวันที่ 1, 15 และ 30 วัน ของการเก็บรักษา (Gokoglu *et al.*, 2018)

การวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

การวิเคราะห์ค่าคุณภาพของผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก

นำผงเมือกจากเมล็ดแมงลักมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและโปรตีน (protein factor=6.25) ตามวิธีของ AOAC (2016) การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย Fourier-transformed Infra-red (FTIR) spectroscopy ค่าสี ความสามารถในการพองตัว ความสามารถในการกักเก็บน้ำและน้ำมันตามวิธีของ López-Vargas *et al*. (2013)

การวิเคราะห์ค่าคุณภาพของเศษเนื้อปลาแซลมอนขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง

การกระจายตัวของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักในเนื้อปลาบดขึ้นรูป ศึกษาโดยการย้อมสีเมือกจากเมล็ดแมงลักเพื่อดูการกระจายตัว เตรียมโดยชั่งน้ำหนักเมือกเปียก 50 กรัม เติมสีผสมอาหารชนิดน้ำที่มีสารบินเลียน บลู เอฟซีเอฟ ในส่วนผสมความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักของเมือกเปียก กวนผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที และนำเมือกที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง บดเพื่อลดขนาด นำผงเมือกความเข้มข้น 0.3% (w/w) ไปคลุกเค้ากับเนื้อปลาบดน้ำหนัก 15 กรัม และขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และความหนา 2.0 เซนติเมตร

การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างขึ้นรูปและแช่เยือกแข็ง (weight loss, %) ศึกษาโดยเตรียมเนื้อปลาบดตามกระบวนการขั้นต้น ชั่งน้ำหนักเนื้อปลาบด 15 กรัมและนำไปขึ้นรูปทรงกระบอกบนถาดสแตนเลสเพื่อรอเข้าตู้แช่เยือกแข็ง (ระยะเวลารวม 3 นาที) และนำถาดที่ใส่ตัวอย่างใส่ในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นที่ผิวหน้า ชั่งน้ำหนักเนื้อปลาบดขึ้นรูปก่อนเข้าตู้แช่เยือกแข็งและหลังจากเข้าตู้แช่เยือกแข็ง นาน 5, 10 และ 20 นาที

การสูญเสียของเหลวจากการละลาย (Thawing loss, %) โดยนำเนื้อปลาบดขึ้นรูปที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง นาน 1, 15 และ 30 วัน มาชั่งน้ำหนักพร้อมถุงที่บรรจุ (*W*1) และทำการละลายน้ำแข็งโดยแช่ในน้ำเย็นพร้อมถุงที่บรรจุ (อุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส) นาน 15 นาที (Oliveira *et al*., 2015) เมื่อครบเวลานำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก (*W*2) โดย *W*3 คือ น้ำหนักของถุงที่ใช้บรรจุเนื้อปลาบด ค่าการสูญเสียของเหลวจากการละลายคำนวณดังสมการ (1)

$$Thawing \quad loss \ (\%) = \left(\frac{W1 - W2 - W3}{W1 - W3} \right) x\,100 \qquad (1)$$

การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (cooking loss, %) โดยนำเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็งนาน 1, 15 และ 30 วัน มาละลายโดยแช่ในน้ำเย็นพร้อมถุงที่บรรจุ (อุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส) นาน 15 นาที ชั่งน้ำหนักเนื้อปลาบด (*W*1) และนำไปทำให้สุกด้วยการอบในเตาอบอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 14 นาที โดยกลับด้านทุก 7 นาที เพื่อให้อุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 76 องศาเซลเซียส นำไปชั่งน้ำหนัก (*W*2) ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกคำนวณดังสมการ (2)

$$Cooking \quad loss \ (\%) = \left(\frac{W1 - W2}{W1} \right) x\,100 \qquad (2)$$

ความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและละลาย (Freeze-thaw stability) ทดสอบโดยนำเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็ง นาน 1, 15 และ 30 วัน มาชั่งน้ำหนัก และละลายในตู้เย็น (อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) นาน 8 ชั่วโมงและนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง จำนวน 3 รอบ เมื่อตามจำนวนรอบที่กำหนด ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและน้ำหนักของเหลวที่แยกตัวออกมา คำนวณร้อยละปริมาณของเหลวที่แยกตัว (Drip loss, %) นำส่วนของเหลวที่แยกตัวหลังจากละลายมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เพื่อแยกส่วนน้ำและน้ำมัน นำน้ำและน้ำมันที่แยกได้มาชั่งน้ำหนัก รายงานผลเป็นร้อยละของปริมาณน้ำและน้ำมันที่แยกออกมาหลังจากแช่เยือกแข็งและละลาย

การตรวจวัดค่าสีและเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาบดขึ้นรูปปรุงสุก โดยนำเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็งนาน 1, 15 และ 30 วัน มาละลายโดยแช่ในน้ำเย็น (อุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส) นาน 15 นาที และนำไปทำให้สุกด้วยการอบในเตาอบ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 14 นาที โดยกลับด้านทุก 7 นาที ตรวจวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Color Flex EZ 45/0, Hanter Lab, สหรัฐอเมริกา) ด้วยระบบ CIE L^* a^* และ b^* และตรวจวัดเนื้อสัมผัสแบบกด 2 ครั้ง (Texture profile analysis) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT plus, Stable Micro System, สหรัฐอเมริกา) หัววัดที่ใช้ทดสอบ คือ หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร (P50)

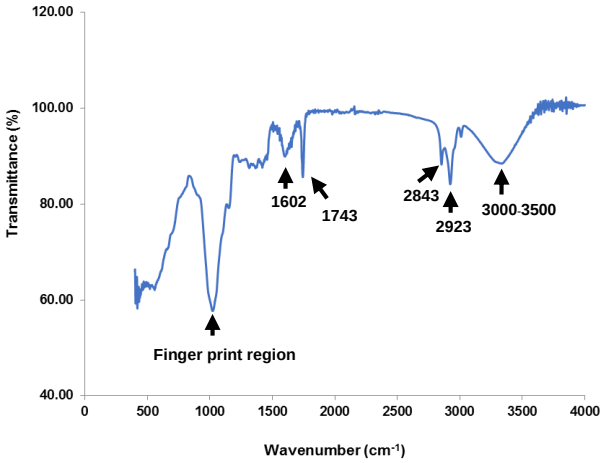
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS version 11.5

ผลการวิจัย

ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนและคุณสมบัติทางกายภาพของผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก

เมือกเปียกที่แยกได้มีน้ำหนัก 20 เท่าของน้ำหนักเมล็ดแมงลัก และหลังจากอบแห้งได้ผงเมือกร้อยละ 11.67 ของน้ำหนักเมือกเปียก Nazir et al. (2017) พบว่า ประสิทธิภาพในการสกัดขึ้นกับอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดแมงลักและน้ำที่ใช้ เมื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผงเมือกด้วย Fourier-transformed Infra-red (FTIR) spectroscopy พบว่า สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FTIR แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ช่วงการดูดกลืนแสงที่บ่งบอกถึงเอกลักษณ์เฉพาะตัวของสารหรือ Finger print region (910-1350 cm^{-1}) และช่วงการดูดกลืนแสงที่บ่งบอกถึงหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้าง (1350-4000 cm^{-1}) (ภาพที่ 1) โดยผงเมือกจากเมล็ดแมงลักปรากฏสเปกตรัมในลักษณะเดียวกับงานวิจัยของ Naji-Tabasi *et al*. (2016) และ Avlani *et al*. (2019) คือ ปรากฏสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1022 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการมีโครงสร้างหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต ขณะที่สเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1602, 1743, 2863, 2923 และ 3000-3500 cm^{-1} บ่งบอกถึงการมีหมู่ฟังก์ชัน C=C, C=O, C-H, N-H และ O-H ตามลำดับ การมีหมู่ฟังก์ชัน C=O, N-H และ O-H ในโครงสร้างแสดงให้เห็นว่าสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ และหมู่ฟังก์ชัน C=O และ N-H ยังบ่งบอกถึงการมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 1 โดยผงเมือกจากเมล็ดแมงลักมีโปรตีนร้อยละ 2.65±0.01 เมือกจากเมล็ดเมล็ดลักที่มีโปรตีนลดแรงตึงผิวได้มากกว่าที่สกัดโปรตีนออก



ภาพที่ 1 สเปกตรัมจากเครื่อง Fourier-transformed Infra-red (FTIR) spectroscopy ของผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก

(Osano *et al*., 2014; Najl-Tabasi *et al*., 2016) ซึ่งความสามารถในการลดแรงตึงผิวเป็นคุณลักษณะอย่างหนึ่งที่นำมาใช้เลือกชนิดสารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (Garti & Reichman, 1993)

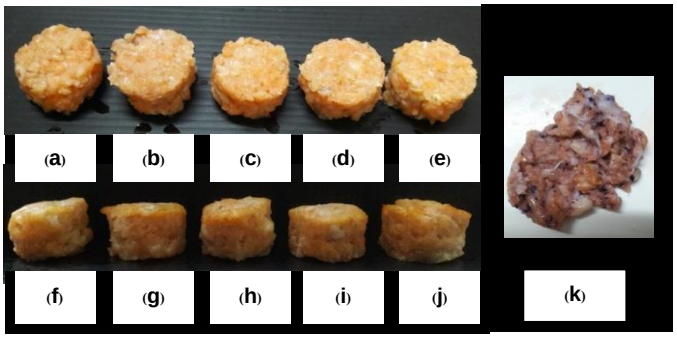
ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน และคุณสมบัติทางกายภาพของผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก

คุณสมบัติ	ปริมาณ
ความชื้น (%)	7.78±0.62
โปรตีน (%)	2.65±0.01
ค่าสี	
*L**	42.36±0.10
*a**	2.18±0.02
*b**	7.26±0.12
ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (g/g)	98.25±3.20
ความสามารถในการกักเก็บน้ำมัน (g/g)	12.14±2.60
ความสามารถในการพองตัว (%)	30.50±0.50

คุณภาพของเศษเนื้อปลาแซลมอนขึ้นรูปแช่เยือกแข็งที่มีผงเมือกจากเมล็ดแมงลักเป็นส่วนประกอบ

ลักษณะปรากฏ

ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏของเนื้อปลาแซลมอนบด เนื้อปลาบดมีสีตามสีของเนื้อปลาแซลมอน (ภาพที่ 2) ถึงแม้ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักมีสีคล้ำ ดังเห็นจากมีค่า L^* น้อย ซึ่งค่า L^* บ่งบอกถึงความสว่าง (ตารางที่ 1) และเนื้อปลาบดสามารถขึ้นรูปทรงได้และมีความคงตัวหลังให้ความร้อน เมื่อนำผงเมือกย้อมสีคลุกเคล้ากับเนื้อปลาบดและขึ้นรูปเพื่อสังเกตการกระจายตัวของผงเมือก พบว่าผงเมือกจากเมล็ดแมงลักมีการกระจายตัวทั่วทั้งชิ้นอาหาร (ภาพที่ 2k)



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของเนื้อปลาแซลมอนบดขึ้นรูปที่มีผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก (a,f) 0% (b,g) 0.1% (c,h) 0.2% (d,i) 0.3% และ (e,j) 0.4% (w/w) ก่อนแช่แข็ง (a-e) หลังทำให้สุก (f-j) และ (k) เนื้อปลาแซลมอนบดที่มีผงเมือกย้อมสี

การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างขึ้นรูปและแช่เยือกแข็ง (Weight loss, %)

ภายหลังจากขึ้นรูปและรอการแช่เยือกแข็ง พบว่า เนื้อปลาบดขึ้นรูปมีการสูญเสียน้ำหนักลดลงจากร้อยละ 2.28 เป็น 0.73-1.37 เมื่อมีผงเมือกดังแสดงในตารางที่ 2 ($p<0.05$) และการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อปลาบดเกิดต่อเนื่องในช่วงต้นของการแช่เยือกแข็ง โดยน้ำหนักของเนื้อปลาบดคงที่หลังจากแช่เยือกแข็งนาน 20 นาที ขณะที่เนื้อปลาบดที่มีผงเมือกทุกระดับความเข้มข้นมีน้ำหนักคงที่หลังแช่เยือกแข็งนาน 10 นาที น้ำหนักโดยรวมที่ลดลงตั้งแต่ขึ้นรูปจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ในตู้แช่เยือกแข็งสำหรับเนื้อปลาบดที่มีผงเมือกร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 (w/w) เท่ากับร้อยละ 4.63, 2.06, 1.77, 1.47, 1.76 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผงเมือกมีส่วนช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อปลาบดในระหว่างขึ้นรูปและแช่เยือกแข็ง

การสูญเสียของเหลวจากการละลาย (Thawing loss, %)

เมื่อนำเนื้อปลาบดขึ้นรูปที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1, 15 และ 30 นาที มาละลายน้ำแข็งโดยแช่ในน้ำเย็น Oliveira *et al.* (2015) พบว่า การละลายน้ำแข็งโดยนำมาแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส นอกจากเป็นการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดความเสียหายแก่เนื้อเยื่อเนื่องจากกระบวนการละลายน้อยกว่าการละลายที่อุณหภูมิห้องและการใช้ความร้อน ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการสูญเสียของเหลวจากการละลาย (Thawing loss) ($p<0.05$) โดยค่าร้อยละการสูญเสียของเหลวจากการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 30 วัน

ของเหลวที่ออกจากชิ้นอาหารในระหว่างละลายอาจมาจาก 2 ส่วน คือ (1) ของเหลวที่อยู่อย่างอิสระบริเวณช่องว่างของเนื้อปลาบด และ (2) น้ำในเซลล์ที่เป็นผลจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อจากทิ่มแทงของผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามเนื้อปลาบดที่มีผงเมือกมีการสูญเสียของเหลวจากการละลายน้ำแข็งลดลงถึงแม้เนื้อปลาบดถูกเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผงเมือกจากเมล็ดแมงลักความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.1 (w/w) แสดงให้เห็นว่า ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักสามารถลดการสูญเสียของของเหลวในระหว่างละลายน้ำแข็งและเพิ่มความคงตัวในระหว่างเก็บรักษา

ตารางที่ 2 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเศษเนื้อปลาแซลมอนบดในระหว่างขึ้นรูปและแช่เยือกแข็ง

BSG (%)	Freezing time (min) at -20˚C				Total weight loss
	Shaping-0	5	10	20 ns	(%)
0	2.28±0.40[a]	1.67±0.43[a]	0.68±0.01[a]	0.00±0.00	4.63±0.82[a]
0.1	1.37±0.01[b]	0.69±0.00[b]	0.00±0.00[b]	0.00±0.00	2.06±0.01[b]
0.2	1.06±0.53[b]	0.71±0.03[b]	0.00±0.00[b]	0.00±0.00	1.77±0.56[b]
0.3	0.73±0.01[b]	0.74±0.01[b]	0.00±0.00[b]	0.00±0.00	1.47±0.02[b]
0.4	1.05±0.49[b]	0.71±0.00[b]	0.00±0.00[b]	0.00±0.00	1.76±0.49[b]

BSG = ผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก, Shaping-0 = ระยะเวลานับตั้งแต่ขึ้นรูปเนื้อปลาบดจนกระทั่งรอเข้าตู้แช่แข็ง (3 นาที)
ค่าเฉลี่ย±SD ที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)
ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (Cooking loss, %)

ผลการทดลองดังตารางที่ 3 พบว่า เนื้อปลาบดขึ้นรูปสามารถกักเก็บน้ำหรือส่วนของเหลวไว้ในชิ้นอาหารมากขึ้นเมื่อมีผงเมือก ดังเห็นได้จากมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อปลาบดที่ไม่มีผงเมือก (p<0.05) ปริมาณน้ำและน้ำมันในอาหารสัมพันธ์กับความชุ่มฉ่ำ (Juiciness) ของอาหาร โดยทั่วไปอาหารแช่เยือกแข็งมีค่าความชุ่มฉ่ำลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำในระหว่างละลายและทำให้สุก Juemanee *et al*. (2009) พบว่า การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ในแบตเตอร์ชุบทอดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านความชุ่มฉ่ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารไฮโดรคอลลอยด์มีส่วนช่วยในการกักเก็บน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์

ความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและละลาย (Freeze-thaw stability)

จากตารางที่ 3 พบว่า เนื้อปลาบดขึ้นรูปแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลาย จำนวน 3 รอบ มีการแยกตัวของของเหลวลดลงเมื่อมีผงเมือก (p<0.05) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังเก็บรักษานาน 15 และ 30 วัน การแยกตัวของน้ำและน้ำมันจากชิ้นอาหารแตกต่างกันขึ้นกับความเข้มข้นของผงเมือก (p<0.05) เนื้อปลาบดมีการแยกตัวของน้ำลดลงและมีการแยกตัวของน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของผงเมือกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.1 เป็น 0.4 (w/w) โดยเนื้อปลาบดที่มีผงเมือกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 0.2 (w/w) มีการแยกตัวของน้ำและน้ำมันในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ผงเมือกจาก

เมล็ดแมงลักมีคุณสมบัติพื้นผิวเนื่องจากมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบและมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (ตารางที่ 1) ยังไม่เพียงพอที่จะลดการแยกตัวของน้ำมันจากชิ้นอาหาร แต่ส่งเสริมให้เกิดการแยกตัวของน้ำมันมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้น

ตารางที่ 3 ค่าการสูญเสียของเหลวจากการละลายน้ำแข็ง (Thawing loss) ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังทำให้สุก (Cooking loss) และความคงทนต่อการแช่แข็งและละลาย (Freeze-Thaw stability) ของเนื้อปลาแซลมอนบดแช่เยือกแข็ง

Storage time (days)	BSG (%)	Thawing loss (%)	Cooking loss (%)	Freeze-Thaw stability (3 cycles)		
				Drip loss (%)	Amount of Water released (%)	Amount of Oil released (%)
1st	0	2.31±0.33^{bc}	35.64±3.70^{a}	20.24±0.91^{a}	16.43±0.39^{a}	3.81±0.52^{fg}
	0.1	2.56±0.18^{b}	31.12±0.81^{ab}	21.75±0.45^{a}	12.58±1.15^{b}	9.17±1.60^{cde}
	0.2	1.35±0.08^{e}	15.48±0.94^{f}	21.75±0.80^{a}	8.72±0.47^{c}	13.03±1.35^{b}
	0.3	1.68±0.43^{de}	21.45±0.87^{def}	17.21±0.61^{b}	4.80±0.32^{d}	12.41±0.30^{bc}
	0.4	1.91±0.02^{cd}	19.50±3.85^{ef}	17.22±1.66^{b}	0.67±0.66^{h}	16.55±3.00^{a}
15th	0	2.29±0.34^{bc}	28.57±1.55^{bc}	18.05±0.73^{b}	14.16±0.16^{b}	3.88±0.57^{fg}
	0.1	1.92±0.03^{cd}	27.21±0.17^{bcd}	8.70±0.99^{cd}	4.33±0.46^{d}	4.37±0.53^{fg}
	0.2	1.29±0.02^{e}	20.67±1.68^{ef}	8.31±0.19^{d}	2.94±0.73^{de}	5.38±0.54^{fg}
	0.3	1.34±0.06^{e}	19.79±2.92^{ef}	10.30±3.48^{cd}	3.17±1.23^{de}	7.13±2.26^{def}
	0.4	0.67±0.05^{f}	19.75±2.38^{ef}	11.53±1.01^{c}	1.19±0.51^{ef}	10.34±0.51^{bcd}
30th	0	3.42±0.37^{a}	27.39±3.61^{bc}	16.80±2.08^{b}	12.70±2.31^{b}	4.10±0.23^{fg}
	0.1	1.39±0.15^{e}	24.68±3.17^{cde}	6.49±1.63^{de}	3.58±0.67^{de}	2.90±0.96^{g}
	0.2	0.65±0.00^{f}	19.87±3.75^{ef}	4.81±0.07^{e}	2.06±0.22^{ef}	2.75±0.15^{g}
	0.3	0.66±0.22^{f}	22.19±2.33^{cde}	9.04±2.83^{cde}	1.80±0.92^{ef}	7.24±1.91^{def}
	0.4	0.66±0.00^{f}	19.00±1.41^{ef}	7.15±1.21^{de}	1.00±0.48^{gh}	6.15±0.73^{ef}

BSG = ผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก

ค่าเฉลี่ย±SD ที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ดังนั้นเพื่อให้เนื้อปลาแซลมอนบดมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและละลาย รวมถึงลดการสูญเสียทั้งน้ำและน้ำมันในชิ้นอาหารถึงแม้ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลาย จำนวน 3 รอบ ความเข้มข้นของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักที่เติมในเนื้อปลาบดไม่ควรมากกว่าร้อยละ 0.2 (w/w)

ค่าสีและเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาบดขึ้นรูปหลังปรุงสุก

ผลการทดลองจากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาและความเข้มข้นของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักไม่มีผลต่อค่าสีและค่าความแข็ง (hardness) ของเนื้อปลาบดขึ้นรูปหลังจากทำให้สุก ($p \geq 0.05$) การที่ผงเมือกไม่มีผลต่อค่าความแข็งของเนื้อปลาบดอาจเป็นผลจากการเสียสภาพของโปรตีนในเนื้อปลาเนื่องจากความร้อน Kong *et al.*(2007) พบว่าโปรตีนในเนื้อปลาแซลมอนเสียสภาพและมีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นตั้งแต่ 5 นาทีแรกของการให้ความร้อน (>121 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักส่งผลให้เนื้อปลาบดมีค่าการเกาะติด (cohesiveness) ลดลง ($p<0.05$) ซึ่งค่าการเกาะติดสัมพันธ์กับแรงที่ใช้ในการยึดเกาะภายในชิ้นอาหาร

ตารางที่ 4 ค่าคุณภาพด้านสีและเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาแซลมอนบดแช่เยือกแข็งหลังทำให้สุก

Storage time (days)	BSG (%)	Color value			Texture		
		L^{*ns}	a^{*ns}	b^*	Hardness (g)	Springiness (mm)	Cohesiveness
1st	0	56.04±1.31	9.44±0.24	21.54±0.54^{ab}	720.79±151.46^{ab}	0.89±0.00^{ab}	0.71±0.03^{ab}
	0.1	56.86±1.55	9.72±3.26	23.78±2.58^{ab}	694.94±196.14^{ab}	0.87±0.03^{abc}	0.69±0.00^{abcd}
	0.2	55.87±1.10	10.00±4.70	22.97±2.47^{ab}	841.79±196.92^{a}	0.86±0.04^{abc}	0.68±0.04^{bcd}
	0.3	56.67±1.39	9.52±2.24	23.82±0.30^{ab}	442.50±152.16^{ab}	0.80±0.01^{c}	0.64±0.01^{de}
	0.4	56.34±3.61	10.47±4.03	22.67±0.71^{ab}	675.42±225.47^{ab}	0.80±0.00^{c}	0.64±0.02^{cde}
15th	0	53.64±5.73	13.02±3.18	19.50±5.98^{ab}	632.51±92.16^{ab}	0.89±0.03^{ab}	0.70±0.01^{ab}
	0.1	56.83±1.58	12.05±1.87	20.38±4.30^{ab}	628.97±101.34^{ab}	0.82±0.00^{abc}	0.69±0.00^{abcd}
	0.2	57.57±0.46	11.35±0.66	19.08±2.16^{b}	756.58±109.18^{ab}	0.82±0.04^{abc}	0.67±0.01^{bcde}
	0.3	55.83±0.06	10.89±0.00	19.18±0.11^{b}	601.76±183.89^{b}	0.85±0.01^{abc}	0.66±0.04^{bcde}
	0.4	55.02±1.99	12.41±0.92	21.05±1.39^{ab}	581.93±8.10^{ab}	0.79±0.02^{c}	0.62±0.02^{e}
30th	0	57.27±0.47	10.82±1.24	24.05±2.33^{ab}	749.56±48.57^{ab}	0.90±0.01^{a}	0.73±0.00^{a}
	0.1	56.58±1.44	9.21±1.43	24.27±1.18^{ab}	852.06±235.76^{ab}	0.84±0.07^{abc}	0.70±0.02^{abc}
	0.2	57.75±2.91	11.91±1.94	25.28±1.39^{a}	830.76±290.09^{ab}	0.80±0.06^{c}	0.66±0.03^{bcde}
	0.3	56.47±0.54	10.39±0.54	25.14±1.57^{a}	674.08±89.88^{ab}	0.79±0.00^{c}	0.66±0.01^{bcde}
	0.4	56.02±0.45	11.11±0.15	24.91±1.40^{ab}	737.99±82.62^{ab}	0.79±0.04^{c}	0.66±0.00^{bcde}

BSG = ผงเมือกจากเมล็ดแมงลัก

ค่าเฉลี่ย±SD ที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิจารณ์ผลการวิจัย

การบดทำให้เนื้อเยื่อของเนื้อปลาเกิดการฉีกขาดส่งผลให้ส่วนของเหลว ได้แก่ น้ำและน้ำมัน แยกตัวออกจากเนื้อปลาแซลมอนได้ง่ายขึ้น การแยกตัวของของเหลวจากเนื้อปลาบดในระหว่างขึ้นรูป แช่แข็ง ละลายและทำให้สุกมีผลต่อน้ำหนักของอาหาร (yield) และเนื้อสัมผัส รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากน้ำมันของปลาแซลมอนเป็นแหล่งที่ดีของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวชนิดโอเมกา 3 ได้แก่ eicosapentaenoic acid (20:*5n*-3) และ docosahexaenoic acid (22:*6n*-3) โดยมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.67±0.10 และ 1.06±0.12 ตามลำดับ (Stevens et al., 2018) จากภาพที่ 2k ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักกระจายทั่วทั้งชิ้นอาหาร การที่มีหมู่ฟังก์ชัน C=O, N-H และ O-H ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ (ภาพที่ 1) โดยหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้มาจากโปรตีน น้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาลในโครงสร้าง (เช่น กลูโคส กรดกาแล็คทูโรนิก แรมโนส แมนโนส และกรดกลูคูโรนิก) (Imam *et al*., 2009) ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักจึงดูดซับน้ำได้มาก (98.25±3.2 กรัมต่อกรัมผงเมือก) (ตารางที่ 1) และดูดซับเร็ว Avlani *el al*. (2019) พบว่า ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักสามารถดูดน้ำภายในเวลา 3 นาที หลังจากดูดซับน้ำผงเมือกจากเมล็ดแมงลักเกิดการพองตัวและเกิดเป็นโครงร่าง 3 มิติ กักเก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้าง การดูดซับของเหลวที่อยู่บริเวณช่องว่างของเนื้อปลาบดบางส่วนของผงเมือกส่งผลให้เนื้อปลาบดสูญเสียน้ำหนักในขั้นตอนขึ้นรูปและแช่เยือกแข็งลดลง (ตารางที่ 2) ในช่วงต้นของการแช่เยือกแข็งเนื้อปลาบดขึ้นรูปมีการสูญเสียน้ำหนักจากการแยกตัวของของเหลวเนื่องจากการแช่แข็งที่ใช้เป็นการแช่แข็งแบบช้า (อัตราการลดอุณหภูมิน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียส/นาที) ทำให้ต้องใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของอาหาร ผลจากการกักเก็บส่วนของเหลวในโครงสร้างของเมือกจากเมล็ดแมงลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำ ทำให้เนื้อปลาบดขึ้นรูปมีการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างละลายน้ำแข็งลดลง (ตารางที่ 3) รวมถึงมีส่วนช่วยในการกักเก็บส่วนของเหลวไว้ในชิ้นอาหารหลังทำให้สุก (ตารางที่ 4) ปริมาณน้ำที่อยู่บริเวณช่องว่างของเซลล์หรือชิ้นอาหารสัมพันธ์กับขนาดของผลึกน้ำแข็ง (Cameron *et al*., 1985) โดยทั่วไปเซลล์เนื้อเยื่อเสียหายมากขึ้นเมื่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ Krala & Dziomdziora (2003) พบว่าน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในโครงสร้างของสารไฮโดรคอลลอยด์เป็นน้ำที่ถูกตรึงไว้ (bound water) จึงไม่เปลี่ยนเป็นน้ำแข็งเมื่ออุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็งของอาหาร ดังนั้นการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างของเมือกจากเมล็ดแมงลักอาจมีส่วนช่วยลดขนาดของผลึกน้ำแข็งและชะลอความเสียหายของเนื้อเยื่อในระหว่างเก็บรักษา เนื้อปลาบดที่มีผงเมือกจึงมีการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างละลายน้ำแข็งน้อยถึงแม้เก็บรักษานาน 30 วัน นอกจากนี้เมือกจากเมล็ดแมงลักมีคุณสมบัติในการเพิ่มความหนืดแก่อาหาร Zameni *et al*. (2014) พบว่า ภายหลังจากให้ความร้อนแก่สารละลายเมือกจากเมล็ดแมงลักสารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีลักษณะคล้ายเจล ซึ่งเป็นผลจากการจัดเรียงโมเลกุลในโครงสร้างใหม่เมื่อได้รับความร้อน (Yamazaki *et al*., 2009) ด้วยเหตุนี้เนื้อปลาบดขึ้นรูปที่มีผงเมือกจึงมีค่าการเกาะติดภายในชิ้นอาหาร (cohesiveness) ลดลง (ตารางที่ 4) การลดลงของค่าการเกาะติดอาจเป็นผลจากการแรงที่ใช้ยึดเกาะกันของชิ้นอาหารเปลี่ยนจากโปรตีน-โปรตีน เป็น โปรตีน-โปรตีน และโปรตีน-พอลิแซคคาไรด์ (ตารางที่ 4)

ความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและละลายเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับอาหารแช่แข็งเพราะบ่งบอกถึงความสามารถของผลิตภัณฑ์ว่ายังคงรักษาส่วนประกอบต่างๆ ไว้ในโครงสร้างได้น้อยหรือมากเมื่อมีการแช่เยือกแข็งและลายซ้ำ เพราะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ในระหว่างเก็บรักษา ขนส่ง และประกอบอาหาร จากตารางที่ 3 พบว่าความคงตัวของการแช่เยือกแข็งและละลายของเนื้อปลาบดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงเมือกและเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษา Zeynali *et al*. (2019) พบว่า เมือก

จากเมล็ดแมงลักไม่เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งและยังคงมีความหนืดปรากฏถึงแม้มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของอาหาร แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักยังคงอยู่ รวมถึงความสามารถในการดูดซับน้ำถ้าในขณะนั้นผงเมือกจากเมล็ดแมงลักยังดูดน้ำไม่เต็มที่ โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งหรือเก็บรักษาจะเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเซลล์ออกมาสู่ภายนอกเนื่องจากความแตกต่างของแรงดันไอ ซึ่งน้ำที่แพร่ออกมาเหล่านั้นอาจถูกดูดซับและกักเก็บไว้ในโครงสร้าง 3 มิติของเมือกจากเมล็ดแมงลัก ดังเห็นได้จากหลังละลายซ้ำเนื้อปลาบดมีน้ำแยกตัวออกมาน้อยเมื่อมีความเข้มข้นของผงเมือกมาก อย่างไรก็ตามผลที่เกิดขึ้นอาจส่งเสริมให้น้ำมันเกิดการแพร่จากภายในเซลล์ออกมาสู่ภายนอกเซลล์แทนน้ำ เนื้อปลาบดที่มีผงเมือกจากเมล็ดแมงลักความเข้มข้นสูงจึงมีน้ำมันถูกแยกตัวออกมามากขึ้น ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นของเมือกจากเมล็ดแมงลักร้อยละ 0.1-0.2 (w/w) อาจเป็นจุดที่เกิดสมดุล การแยกตัวของน้ำและน้ำมันจากชิ้นอาหารจึงมีในปริมาณใกล้เคียงกันเมื่อเพิ่มเวลาเก็บรักษา

สรุปผลการวิจัย

จากการที่ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้จึงดูดน้ำและกักเก็บไว้ในโครงสร้างได้มาก ส่งผลให้เมื่อนำไปเติมในเนื้อปลาแซลมอนบดจึงมีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ การลดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างขึ้นรูป แช่แข็ง ละลายน้ำแข็ง การทำให้สุก และเพิ่มความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลาย แต่ทั้งนี้การแยกตัวของน้ำมันจากเนื้อปลาบดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายซ้ำหลายรอบมีมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของผงเมือกจากเมล็ดแมงลักมากกว่าร้อยละ 0.2 (w/w)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพของเนื้อปลาบดปรุงรสแช่แข็งด้วยโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลต เมือกจากเมล็ดแมงลักและผงโกจิเบอร์รี่ ประจำปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2016). *Official methods of analysis*. (17th ed). Arlington: Association of Official Analytical Chemists.

Alizadeh, F., Chapleau, N., de Lamballerie, M. & LeBail, A. (2007). Effects of freezing and thawing processes on the quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) Fillets. *Journal of Food Science*, *72*, E279-E284.

Avlani, D., Agarwal, V., Khattry, V., Biswas, G.R. & Majee, B. (2019). Exploring properties of sweet basil seed mucilage in development of pharmaceutical suspensions and surfactant-free stable emulsions. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, *11*, 1-6.

Cameron, I.L., Hunter, K.E., Ord, V.A. & Fullerton, G.D. (1985). Relationships between ice crystal size, water content and proton NMR relaxation times in cells. *Physiological Chemistry and Physics and Medical NMR*, *17*, 371-386.

Garti, N. & Reichman, D. (1993). Hydrocolloids as food emulsifiers and stabilizer. *Food Structure*, *12,* 411-426.

Gokoglu, N., Topuz, O.K., Yerlikaya, P., Yatmaz, H.A. & Ucak, I. (2018). Effects of freezing and frozen storage on protein functionality and texture of some Cephalopod muscles. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *27*, 1-8.

Gonçalves, A.A. & Passos, M.G. (2010). Restructured fish product from White Croacker (*Micropogonias furnieri*) mince using Microbial Transglutaminase. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *53,* 987-995.

Hagiwara, T., Hayashi, R., Suzuki, T. & Takai, R. (2003). Fractal analysis of ice crystals in frozen fish meat. *Japan Journal of Food Engineering, 4, 11-16.*

Harnedy, P.A., Parthsarathy, V., McLaughlin, C.M., ÓKeeffe, M.B., Allsopp, P.J., McSorley, E.M., ÓHarte, F.P.M. & FitzGerald, R.J. (2018). Atlantic salmon (*Salmo salar*) co-product-derived protein hydrolysates: A source of antidiabetic peptides. *Food Research International*, *106*, 598-606.

Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Merino, L.& Golding, M. (2015). Effect of basil seed gum (BSG) on textural, rheological and microstructural properties of model processed cheese. *Food Hydrocolloids*, *43*, 557-567.

Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Merino, L., Goh, K., Razavi, S. & Montazavi, S. (2010). Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum L*. seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, *101*, 236-243.

Imam, H., Lian, S., Kasimu, R., Rakhmanberdyeva, R. & Aisa, H. (2012). Extraction of an antidiabetic polysaccharide from seeds of *Ocimum basilicum* and determination of the monosaccharide composition by precolumn high-efficiency capillary electrophoresis a. *Chemistry of Natural Compounds*, *48*, 1-2.

Jani, G.K., Shah, D.P., Prajapati, V.D. & Jain, V.C. (2009). Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *4,* 309-323.

Juemanee, P., Kijroongrojana, K., Usawakesmanee, W. & Posri, W. (2009). Juiciness improvement of frozen battered shrimp burger using modified tapioca, sodium alginate, and iota-carrageenan. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *31*, 491-500.

Kong, F., Tang, J., Rasco, B., Crapo, C. & Smiley, S. (2007). Quality changes of Salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) muscle during Thermal processing. *Journal of Food Science*, *72*, S103-S111.

Kong, J., Dougherty, M.P., Perkins, L.B. & Camire, M.E. (2012). Utilization of smoked salmon trim in extrude smoked salmon jerky. *Journal of Food Science*, *77*, S211-215.

Krala, L.& Dziomdziora, M. (2003). The effect of hydrocolloid mixtures on frozen pork properties. *Polish journal of Food and Nutrition Sciences*, *12*/*53*, 55-58.

Lee, C.H. & Chin, K.B. (2017). Development of low-fat sausages using Basil seed gum (*Ocimum bacilicum* L.) and gelatin as a fat replacer. *International Journal of Food Science & Technology*, *52*, 733-740.

López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Pérez- Álvarez, J. A. & Viuda-Martos, M. (2013). Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Research International*, *51*, 756-763.

Montero, P., Hurtado, J. & Pérez-Mateos, M. (2000). Microstructural behavior and gelling characteristics of myosystem protein gels interacting with hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, *14*, 455-461.

Naji-Tabasi, S. & Razavi, S.M.A. (2017). Functional properties and applications of basil seed gum. An overview. *Food Hydrocolloids*, *73*, 313-325.

Naji-Tabasi, S., Razavi, S.M.A. & Mohebbi, M. (2016). New studies on basil (*Ocimum bacilicum L.*) seed gum: Part I-Fractionation, physicochemical and surface activity characterization. *Food Hydrocolloids*, *52,* 350-358.

Nazir, S., Wani, I.A.& Masoodi, F.A. (2017). Extraction optimization of mucilage from basil (*Ocimum basilicum L.*) seeds using response surface methodology. *Journal of Advanced Research*, *8*, 235-244.

Ngapo, T.M., Babare, IH, Reynolds, J. & Mawson, R.F. (1999). Freezing rate and frozen storage effects on the ultrastructure of samples of pork. *Meat Science, 53*, 159-168.

Oliveria, M.R., Gubert, G., Roman, S.S., Kempka, A.P. & Prestes, R.C. (2015). Meat quality of chicken breast subjected to different thawing methods. *Brazilian Journal of Poultry Science*, *17,* 165-172.

Osano, J.P., Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Meriono, L. & Golding, M. (2014). Emulsifying properties of a novel polysaccharide extracted from basil seed (*Ocimum bacilicum L.*): Effect of polysaccharide and protein content. *Food Hydrocolloids*, *37*, 40-48.

Saengphol, E. & Pirak, T. (2019). Effect of Thai hoary basil (*Ocimum canum Sims.*) seed mucilage on far reduction and quality characteristics of chicken salt soluble protein gel and low-fat meat products. *Agriculture and Natural Resources*, *53*, 487-499.

Song, K.Y., O, H., Joung, K.Y., Shin, S.Y. & Kim, Y.S. (2017). Effects of Basil (*Ocimum basilicum* L.) seed mucilage substituted for fat source in sponge cake: physicochemical, structural, and retrogradation properties. *Italian Journal of Food Science*, *29,* 681-696.

Stevents, J.R., Newton, R.W., Tlust, M. & Little, D.C. (2018). The rise of aquaculture by-products: Increasing food production, value, and sustainability through strategic utilization. *Marine Policy*, *90*, 115-124.

Yamazaki, E., Kurita, O. & Matsumura, Y. (2009). High viscosity of hydrocolloid from leaves of *Corchorus olitorius* L. *Food Hydrocolloid*, *23,* 655-660.

Yoon, K.S., Lee, C.M. & Hufnagel., L.A. (1991). Textural and microstructural properties of frozen fish mince as affected by the addition of nonfish protein and sorbitol. *Food Structure*, *10*, 255-265.

Yu, L.,Jiang, Q., Yu, D., Xu, Y., Gao, P. & Xia, W. (2018). Quality of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) during the storage at -18˚C as affect by different methods of freezing. *International journal of Food Properties*, *21*, 2100-2109.

Zameni, A., Kashaninejad, M.& Aalami, M. (2014). Effect of thermal and freezing treatments on rheological, textural and color properties of basil seed gum. *Journal of Food Science and Technology*, *52*, 5914-5921.

Zeymali, M., Naji-Tabasi, S. & Farahmandfar, R. (2019).Investigation of basil (*Ocimum bacilicum L.*) seed gum properties as cryoprotectant for frozen foods. *Food Hydrocolloids*, *90*, 305-312.