วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 25 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2563
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 25 (No.3) September – December 2020 บทความวิจัย

แคลเซียมจากผงเปลือกหอยมุก (*Pinctada maxima*) ที่เป็นผลจากกระบวนการทางความร้อน : การจำแนกลักษณะและการประยุกต์ใช้ในเจลซูริมิ

Dietary Calcium from Pearl Oyster (*Pinctada maxima*) Shell Powder as Affected by Thermal Treatment : Characterization and Its Application in Surimi Gel

กนกวรรณ วงศ์ท่าเรือ[1], ชุติมา รองราช[1], ธีระพล เสนพันธุ์[2], สรญา เขียวนาวาวงศ์ษา[3] และ สุธาสินี ญาณภักดี[1*]

Kanokwan Wongtarue[1], Chutima Rongrat[1], Theeraphol Senphan[2],

Sorraya Khiewnavawongsa[3] and Suthasinee Yarnpakdee[1*]

[1]*สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ทางทะเล คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*

[2]*คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้*

[3]*สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*

[1]*Division of Marine Product Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University*

[2]*Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University*

[3]*Division of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai*

Received : 26 February 2020

Revised : 10 April 2020

Accepted : 22 April 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของกระบวนการทางความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกหอยมุก (*Pinctada maxima*) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งจากการจำแนกลักษณะของผงเปลือกหอยมุกที่ไม่ผ่านการเผา (Shell powder: SP) และผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านการเผา (Calcine powder: CP) พบว่าตัวอย่างทั้งสองชนิดมีเถ้าเป็นองค์ประกอบหลัก คิดเป็นร้อยละ 95.74-99.37 โดยพบปริมาณแคลเซียมในช่วงร้อยละ 41.17-62.04 ในขณะที่พบโปรตีน ความชื้น และไขมัน ในปริมาณร้อยละ 3.12 0.38-0.68 และ 0.10 ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าผลของกระบวนการทางความร้อนยังส่งผลต่อค่าสี ดังแสดงจากค่าความขาว (whiteness) และค่า L* (ความสว่าง) ที่สูงขึ้นสอดคล้องกับค่า a* (ค่าสีแดง) และ b* (ค่าสีเหลือง) ที่ลดลง เมื่อศึกษาผลของการเติมผงเปลือกหอยมุก SP และ CP ที่ระดับต่างๆ (ร้อยละ 0.025-0.5) ต่อสมบัติการเกิดเจลในซูริมิจากปลาผสม เปรียบเทียบกับเจลที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) พบว่า ค่าแรงก่อนการเจาะทะลุ (Breaking force) และค่าความแข็งแรงเจล (Gel strength) ของทุกชุดทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแคลเซียมที่ระดับร้อยละ 0.025-0.075 ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าระยะทางก่อนการเจาะทะลุ ($P > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการเกิดเจลมีความสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด (Expressible moisture content) และการเพิ่มขึ้นของค่าความขาว ทั้งนี้พบว่าการใช้ผงแคลเซียมจากเปลือกหอยมุกที่ระดับ ร้อยละ 0.075 เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพเจลจากซูริมิปลาผสม ซึ่งการใช้ผงเปลือกหอยมุก SP ให้สมบัติการเกิดเจลที่สูงกว่าผงเปลือกหอยมุก CP และให้สมบัติที่ใกล้เคียงกับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารประกอบแคลเซียม (ตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสภายในกล้ามเนื้อ) มีบทบาทสำคัญต่อการปรับปรุงสมบัติการเกิดเจล ดังนั้น การใช้ผงเปลือกหอยมุกสามารถเป็นแหล่งของแคลเซียมทางเลือกจากธรรมชาติในการปรับปรุงคุณภาพเจลและพัฒนาสีของซูริมิเกรดต่ำจากปลาผสมได้

คำสำคัญ : แคลเซียม ; ผงเปลือกหอยมุก ; องค์ประกอบทางเคมี ; สมบัติการเกิดเจล ; ซูริมิ

***Corresponding author. E-mail** : suthasinee.y@cmu.ac.th

Abstract

Chemical composition of pearl oyster (*Pinctada maxima*) shell as affected by thermal treatment at 900 °C for 5 hours was investigated. The shell powder (SP) without thermal treatment and its calcine powder (CP) were characterized. Both samples contained the high ash content of 95.74-99.37%, which found as a major component. Calcium contents were presented at 41.17-62.04%, while protein moisture and lipid content were found 3.12%, 0.38-0.68% and 0.10%, respectively. Moreover, thermal treatment also affected the color as evidenced by higher whiteness and L* (Lightness) values with concomitant decreases in a* (Redness) and b* (Yellowness) values of CP. When SP and CP at various levels (0.025-0.5%) were incorporated in mixed fish surimi, their gelling properties were investigated, which comparatively studied with the gel containing calcium chloride ($CaCl_2$). With the addition of calcium level (0.025-0.075%), the increases in breaking force and gel strength of all gels were observed ($P < 0.05$). However, there was no significant difference in deformation ($P > 0.05$). In addition, the increase in gel forming ability was associated with the decreased expressible moisture contents as well as the increased in whiteness. The addition of calcium powders from pearl oyster shell at 0.075% was an appropriate level for gel improvement from mixed fish surimi. The higher gel forming ability induced by SP was found than did CP, similarly to gel added with $CaCl_2$. The result indicated that calcium compound, an endogenous transglutaminess (TGase) activator, plays an important role for gel improvement. Thus, pearl oyster shell powder could be an alternative source of natural calcium for gel enhancement and color improvement for low graded surimi from mixed fish.

Keywords : calcium ; pearl oyster shell powder ; chemical composition ; gelling properties ; surimi

บทนำ

ปัจจุบันอาหารเสริมแคลเซียมกำลังได้รับความสนใจเนื่องจากประเทศไทยก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ที่มักประสบปัญหาเรื่องมวลกระดูกบางและโรคกระดูกพรุน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการบริโภคอาหารที่มีแคลเซียมไม่เพียงพอกับความต้องการ หรือมีการดูดซึมแคลเซียมไม่ดี จากการสำรวจการรับประทานแคลเซียมพบว่า คนไทยวัยผู้ใหญ่รับประทานแคลเซียมน้อยกว่าปริมาณที่ควรได้รับ คือ เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 300-400 มิลลิกรัมต่อวัน จากปริมาณที่แนะนำให้รับประทาน คือ 800 มิลลิกรัมต่อวัน ส่วนหนึ่งเป็นเพราะอาหารไทยมักมีแคลเซียมในปริมาณต่ำ (Hfocus, 2018) ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมแคลเซียมในท้องตลาดจึงเป็นที่สนใจจากกลุ่มผู้บริโภคด้วยเหตุผลด้านสุขภาพ ปัจจุบันมีการศึกษาการผลิตแคลเซียมจากธรรมชาติ และพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพหลากหลายประเภท เช่น แคลเซียมจากกระดูกสัตว์ปีก เปลือกหอยนางรม และเปลือกไข่ เป็นต้น (Benjakul & Karnjanapratum, 2018; Waheed *et al*., 2019) มีรายงานว่าผลึกแคลเซียมในกระดูกปลาจะอยู่ในรูปผลึกไฮดรอกซีอะพไทต์ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวกับที่พบในกระดูกมนุษย์ ในขณะที่เปลือกไข่และเปลือกหอยนางรมจะอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต โดยแคลเซียมจากธรรมชาติเหล่านี้จะมีราคาถูกกว่ากลุ่มแคลเซียมคีเลตรวมถึงแคลเซียม

ฟอสเฟตมาก นอกจากนี้ยังสามารถละลายน้ำได้และดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดี มีรายงานว่าไบโอแคลเซียมที่มีฟอสโฟเพปไทด์จากกระดูกปลาสามารถช่วยเรื่องการดูดซึมแคลเซียมในทางเดินอาหารได้ (Jung & Kim, 2007)

หอยมุกเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สร้างมูลค่ามหาศาลในอุตสาหกรรมอัญมณีไทย ปัจจุบันประเทศไทยมีการเพาะเลี้ยงหอยมุกเชิงพาณิชย์เพื่อผลิตไข่มุก โดยมีอัตราการส่งออกในปี 2562 คิดเป็นมูลค่า 547.1 ล้านบาท (Department of International Trade Promotion, 2019) ซึ่งภายหลังจากการเก็บเกี่ยวไข่มุก เปลือกหอยมุกจึงกลายเป็นวัสดุเศษเหลือ และด้วยเหตุผลด้านความแข็งแรงและให้ความแวววาวสวยงามจึงมีการนำเอาเปลือกหอยมาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการทำเครื่องประดับ เช่น สร้อยคอ ตุ้มหู แหวน สร้างความชื่นชอบให้กับผู้สวมใส่ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างสิ่งประดิษฐ์และเครื่องใช้ได้อีกด้วย เช่น กระดุมมุก เข็มขัด ด้ามมีด เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันกลายเป็นธุรกิจขนาดย่อมให้กับท้องถิ่น โดยพบว่าภายหลังจากการเจียระไนพบผงเปลือกหอยเกิดขึ้นและไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์เต็มประสิทธิภาพ จากการศึกษาข้อมูลทางชีวภาพของเปลือกหอยพบว่า เปลือกหอยจะประกอบด้วยองค์ประกอบจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนตมากถึงร้อยละ 95-99 และมีโปรตีนเป็นสารเชื่อมประสาน ประมาณร้อยละ 0.1-5.0 โดยน้ำหนัก (Kaplan, 1998) ซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยนับว่าเป็นสารที่ค่อนข้างบริสุทธิ์มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการในด้านความขาว (Brightness) และการดูดซับ (Absorption) อย่างไรก็ตามแคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ และเมื่อนำเข้าสู่ร่างกาย ร่างกายสามารถดูดซึมได้น้อย ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้ทางความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมที่อยู่ในรูปอื่น ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งนอกเหนือจากประโยชน์ด้านคุณค่าทางโภชนาการ แคลเซียมจากธรรมชาติยังให้สมบัติเชิงหน้าที่ที่สามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ก่อเจลจากโปรตีนเนื้อปลาภายหลังจากกระบวนผ่านการเซ็ตตัว ซึ่งเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminess: TGase) ภายในกล้ามนื้อ มีบทบาทโดยตรงต่อการเชื่อมประสานกันของโปรตีนโดยพันธะ ε-(γ-glutamyl) lysine ซึ่งมีผลต่อการพัฒนาความแข็งแรงเจลของผลิตภัณฑ์ (Kumazawa *et al*.,1995) และเป็นเอนไซม์ที่ต้องอาศัยแคลเซียมเป็นตัวกระตุ้นกิจกรรม (Ca^{2+}-activator) ซึ่งความไวของ เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในกล้ามเนื้อปลาแต่ละชนิดต่อระดับแคลเซียมมีความแตกต่างกัน (Ashie & Lanier, 2000) โดยมีมีรายงานว่าค่าแรงและระยะทางก่อนการเจาะทะลุของซูริมิมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$ 0-120 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม) (Benjakul *et al*., 2004) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เกล็ดปลาผงเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 1-4 สามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลายอโดยไม่ส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส (Banlue *et al.,* 2019) อย่างไรก็ตามยังไม่พบการรายงานการใช้แคลเซียมจากผงเปลือกหอยมุกในการปรับปรุงคุณภาพเจลซูริมิมาก่อน

ปัจจุบันอุตสาหกรรมซูริมิในประเทศไทย สามารถผลิตซูริมิได้มากเป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากสหรัฐอเมริกา มีโรงงานผลิตซูริมิ 18 โรงงาน กำลังการผลิตซูริมิประมาณ 100,000 ตันต่อปี (Positioning, 2020) สามารถขยายกำลังการผลิตได้อีก เนื่องจากความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ ก่อให้เกิดปัญหาด้านการผลิตเนื่องจากปลาที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซูริมิกำลังจะหมดไปจากท้องทะเลไทย โดยปลามีขนาดเล็กลงและปริมาณไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปีวัตถุดิบในการผลิตซูริมิส่วนใหญ่ได้มากจากการทำประมงนอกน่านน้ำ ต้องแช่แข็งปลากลับมาผลิตซูริมิในไทย ใช้เวลาเก็บรักษาปลาเป็นระยะเวลา 7-10 วัน ส่งผลให้ความสดของปลาลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ได้มีคุณภาพต่ำไม่คุ้มค่ากับต้นทุนที่สูญเสียไปผู้ประกอบการอุตสาหกรรมซูริมิส่วนใหญ่ จึงนำเข้าซูริมิคุณภาพสูงแต่ด้วยต้นทุนที่สูงจึงได้ให้

ความสำคัญกับการพัฒนาคุณสมบัติของเจลซูริมิจากปลาเกรดต่ำให้มีค่าเจลที่สูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน รวมทั้งศึกษาบทบาทของแคลเซียมจากผงเปลือกหอยมุกและ $CaCl_2$ ในปริมาณต่างๆ (ร้อยละ 0.025-0.5) ต่อสมบัติการเกิดเจลของซูริมิปลาผสม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. <u>วัตถุดิบ</u>

ซูริมิแช่แข็งจากปลาทรายแดงผสม (ปลาทรายแดง ร้อยละ 60 และปลาอีปุดตาโต ร้อยละ 40) เกรด B ค่าความแข็งแรงเจลอยู่ในช่วง 300-400 กรัมเซนติเมตร ผลิตขึ้นในเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2561 ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท แมน เอ โฟรสเซนฟู้ดส์ จำกัด ต.เขารูปช้าง อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา ขนส่งมายังคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยรถตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ภายใน 48 ชั่วโมง เมื่อมาถึงคณะฯ ทำการเก็บรักษาซูริมิไว้ในตู้ -20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำมาศึกษา

ผงเปลือกหอยมุกที่เหลือจากกระบวนการเจียระไนกระดุม ซึ่งจัดซื้อจากผู้ประกอบการรายย่อยใน จ.ลำปาง ขนส่งมายังคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ภายใน 24 ชั่วโมง เมื่อมาถึงคณะฯ นำผงเปลือกหอยมุกมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง บรรจุตัวอย่างถุงไนลอนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาวิเคราะห์

2. <u>วิธีการวิจัย</u>

2.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

นำเปลือกหอยมุก 100 กรัม มาเผาด้วยเตาเผา(Model 320, Nabertherm, Bremen, Germany) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นรอให้อุณหภูมิของตัวอย่างที่ได้จากการเผาลดลงถึงอุณหภูมิห้อง (~ 25-30 องศาเซลเซียส) แล้วทำการบดกรองผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร (CP) เปรียบเทียบกับชุดตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเผา (SP) สำหรับนำมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการเกิดเจลของซูริมิต่อไป

2.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่าน (CP) และไม่ผ่าน (SP) กระบวนการทางความร้อน

(1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate composition)

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC วิธีการที่ 927.05, 942.05, 920.38 และ 984.13 ตามลำดับ (AOAC, 2000)

(2) การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมของผงเปลือกหอยมุกด้วยเครื่อง Inductivity Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) (Feist & Mikula, 2014)

(3) การวิเคราะห์ค่าสีและค่าความขาว

นำมาวัดค่าสี โดยเครื่อง Colorimeter (Color Flex, Hunter Lab Reston, VA, USA) รายงานค่าตามระบบ CIE (L*, a*, b*) คำนวณค่าความขาว (Whiteness) ของเจลตามวิธีการของ Benjakul *et al.* (2004) ดังสมการ (1)

$$\text{ค่าความขาว (ร้อยละ)} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (1)$$

2.3 ศึกษาผลของแคลเซียมจากเปลือกหอยมุกที่ระดับต่าง ๆ ต่อสมบัติการเกิดเจลของซูริมิจากปลาผสม

(1) การเตรียมเจลเตรียมเจลซูริมิ

เตรียมเจลซูริมิตามวิธีการของ Petcharat & Benjakul (2017) โดยดัดแปลงวิธีการเล็กน้อย เริ่มจากการนำซูริมิแช่แข็งมาละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งมีอุณหภูมิใจกลางถึง 0-2 องศาเซลเซียส หั่นซูริมิให้มีขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมเกลือร้อยละ 2.5 ในเครื่องสับผสมเป็นเวลา 2 นาที โดยระหว่างการสับผสมต้องควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมผงเปลือกหอย SP และ CP ในระดับต่างๆ ดังนี้ ร้อยละ 0.025 0.05 0.075 0.1 และ 0.5 (ของน้ำหนักเจลซูริมิ) ปรับปริมาณความชื้นของซูริมิให้ได้ร้อยละ 80 โดยเติมน้ำกลั่นเย็นเพื่อใช้ละลายแคลเซียมจากผงเปลือกหอยมุกและปรับพีเอชของสารละลายดังกล่าวให้เป็นกลาง (พีเอช 6.8-7.2) ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ จากนั้นสับผสมเป็นเวลา 3 นาที แล้วบรรจุในไส้โพลีไวนิลคลอไรด์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ทำการต้มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการต้มต่อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นเก็บรักษาเจลซูริมิไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ก่อนทำการตรวจวิเคราะห์ เปรียบเทียบสมบัติการเกิดเจลที่ผ่านการเติมแคลเซียมคลอไรด์ และเจลชุดควบคุม (ที่ไม่ผ่านการเติมสารทดสอบจากผงเปลือกหอยมุกและแคลเซียมคลอไรด์)

(2) การตรวจวิเคราะห์คุณภาพเจลซูริมิ

a. การวิเคราะห์ค่าแรงก่อนการเจาะทะลุ (Breaking force) ระยะทางก่อนการเจาะทะลุ (Deformation) และความแข็งแรงเจล (Gel strength)

วิเคราะห์ความแข็งแรงของเจลโดยนำไปวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ตามวิธีการของ Benjakul *et al.* (2001) โดยตัดตัวอย่างเจลให้มีความสูง 2.5 เซนติเมตร ใช้หัววัดกระเปาะทรงกลม (Spherical probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (P/5S) กดลงไปในตัวอย่างเจลด้วยความเร็วคงที่ 60 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร บันทึกค่าแรง (Breaking force) (จี) และระยะทาง (Deformation) (มิลลิเมตร) ก่อนการเจาะทะลุ แล้วคำนวณค่าความแข็งแรงเจล (Gel strength) (จี•เซนติเมตร) จากแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุคูณด้วยระยะทางที่หัววัดเจาะก่อนทะลุ

b. การวิเคราะห์ปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด (Expressible moisture content)

วิเคราะห์ปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด ดัดแปลงวิธีการของ Chanarat *et al.* (2012) โดยตัดตัวอย่างเจลให้มีความหนา 5 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างเจลและบันทึกน้ำหนักที่ได้ นำไปวางไว้บนกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 โดยด้านล่างใช้กระดาษกรอง 3 แผ่น และปิดทับด้วยกระดาษกรองอีก 2 แผ่น โดยตัวอย่าง

เจลถูกกดด้วยน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัม เป็นเวลา 2 นาที นำตุ้มน้ำหนักออกและนำตัวอย่างเจลที่ได้ไปชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละของน้ำที่ถูก ขับออกมาภายหลังการกด ดังสมการ (2)

$$\text{ปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนกด} - \text{น้ำหนักหลังกด})}{\text{น้ำหนักก่อนกด}} \times 100 \qquad (2)$$

c. การวิเคราะห์ค่าความขาวของเจล (Whiteness) เช่นเดียวกับข้อ 2.2 หัวข้อย่อยที่ (3)

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Steel & Torrie, 1980)

ผลการวิจัย

1. <u>การจำแนกลักษณะของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการเผา</u>

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกหอยมุกที่ไม่ผ่าน (SP) และผ่านการเผา (CP) พบว่า ตัวอย่างผงเปลือกหอยมุกมีเถ้าเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งพบในช่วงร้อยละ 95.74 – 99.37 (โดยน้ำหนักเปียก) แสดงให้เห็นว่าผงเปลือกหอยมุกอุดมไปด้วยแร่ธาตุ โดยผงเปลือกหอยมุก SP พบปริมาณแคลเซียม เท่ากับร้อยละ 41.17± 1.21 มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 3.12 ± 0.25 ปริมาณไขมัน ร้อยละ 0.10 ± 0.01 และปริมาณความชื้น ร้อยละ 0.68 ± 0.06 ส่วนผงเปลือกหอยมุก CP พบปริมาณแคลเซียม เท่ากับ ร้อยละ 62.04 ± 0.33 ปริมาณความชื้นร้อยละ 0.38 ± 0.01 และไม่พบปริมาณโปรตีนและไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังพบว่า ผงเปลือกหอยมุก CP มีสีที่ขาวขึ้น มีค่า L* (ความสว่าง) ที่มากกว่าและค่า b* (สีเหลือง) น้อยกว่าผงเปลือกหอยมุก SP ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ลักษณะของผงเปลือกหอยมุกที่ไม่ผ่านการเผา (SP) และผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านการเผา (CP)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านการเผา

องค์ประกอบทางเคมี†	ผงเปลือกหอยมุกไม่ผ่านการเผา (SP)	ผงเปลือกหอยมุกผ่านการเผา (CP)
โปรตีน (ร้อยละ)	3.12 ± 0.25	ND
เถ้า (ร้อยละ)	95.74 ± 0.26[b]	99.37 ± 0.25[a]
ไขมัน (ร้อยละ)	0.10 ± 0.01	ND**
ความชื้น (ร้อยละ)	0.68 ± 0.06[a]	0.38 ± 0.01[b]
แคลเซียม(ร้อยละ)	41.17± 1.21[b]	62.04 ± 0.33[a]
L*	53.04 ± 4.78[b]	73.83 ± 5.132[a]
a*	0.10 ± 0.07[a]	-0.87 ± 0.116[b]
b*	4.62 ± 0.37[a]	3.40 ± 0.492[b]
ค่าความขาว (ร้อยละ)	52.80 ± 4.73[b]	73.57 ± 5.01[a]

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงผลในรูป ของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

[abc] ที่ปรากฏในแนวแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

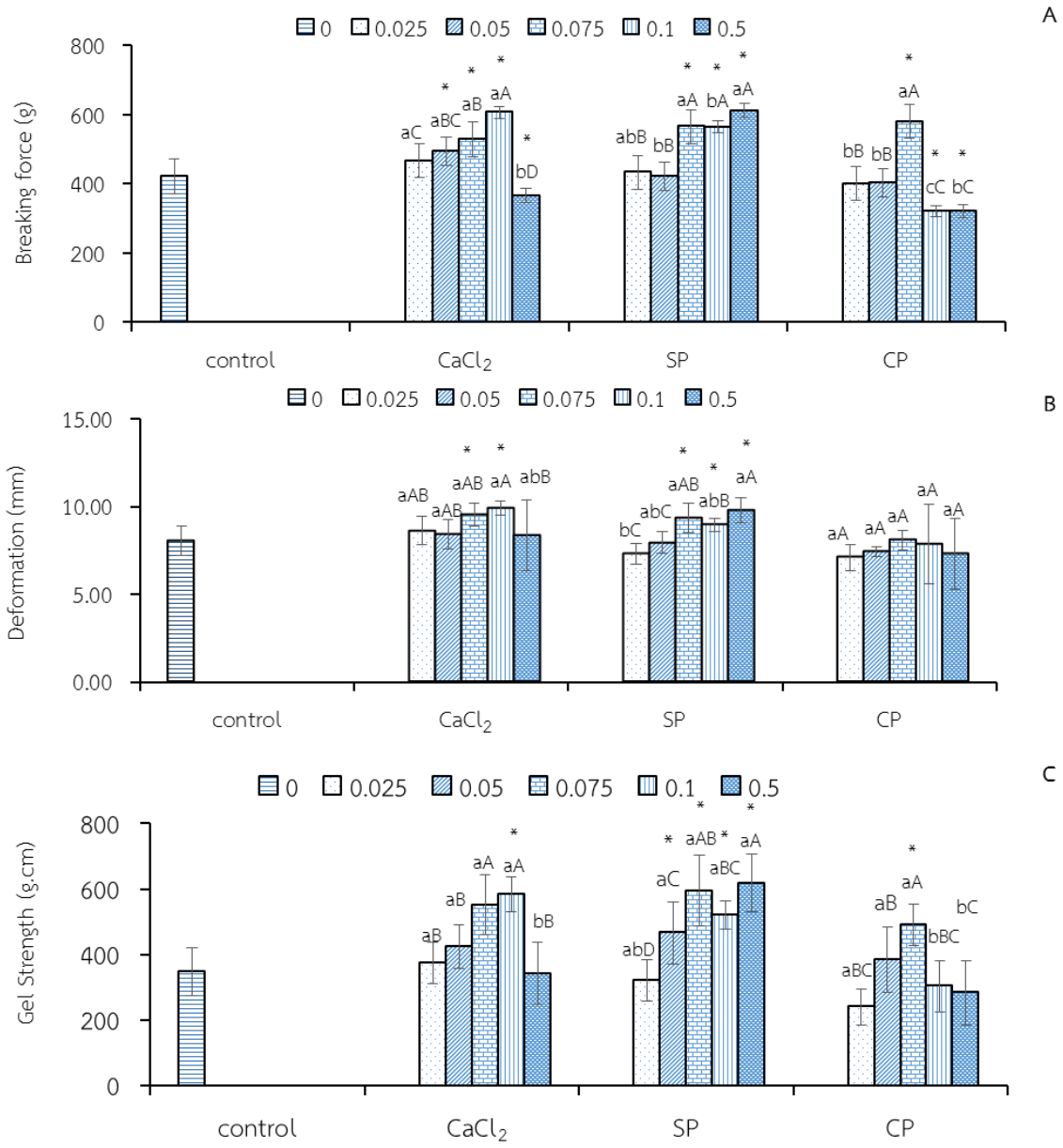
**ND : not detectable

†คำนวณบนฐานน้ำหนักเปียก (Wet weight basis)

2. *<u>การศึกษาผลของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนต่อสมบัติการเกิดเจลจากซูริมิปลาผสม</u>*

2.1 ค่าแรงก่อนการเจาะทะลุ ระยะทางก่อนการเจาะทะลุ และความแข็งแรงเจลซูริมิ

จากการศึกษาผลของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนต่อสมบัติการเกิดเจลซูริมิจากปลาผสม เปรียบเทียบกับเจลชุดที่ผ่านการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับต่าง ๆ (ร้อยละ 0.025 - 0.5) โดยติดตามจากค่าแรง (Breaking force) ระยะทางก่อนการเจาะทะลุ (Deformation) และความแข็งแรงเจล (Gel strength) ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่า เจลซูริมิชุดควบคุม (ที่ไม่มีการเติมสารทดสอบ) มีค่าแรงในการเจาะทะลุ เท่ากับ 421 จี ในขณะที่เจลชุดที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์หรือผงเปลือกหอย SP และ CP มีค่าแรงในการเจาะทะลุ อยู่ในช่วง 366-466 จี 421-612 จี และ 321-580 จี ตามลำดับ ซึ่งขึ้นกับปริมาณที่ใช้ สำหรับระยะทางในการเจาะทะลุของเจลซูริมิในสภาวะที่มีสารเติมแต่งในระดับต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P < 0.05$) ซึ่งพบอยู่ในช่วง 7.10-9.79 มิลลิเมตร ในขณะที่เจลชุดควบคุมมีระยะทางในการเจาะทะลุ เท่ากับ 8.05 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าความแข็งเจล พบว่า เจลชุดควบคุมให้ค่าความแรงเจล เท่ากับ 347.05 จี·เซนติเมตร ส่วนเจลที่มีการเติมสารทดสอบ ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ ผงเปลือกหอย SP และ CP มีค่าเท่ากับ 341.73-582.94 320.43-618.36 และ 239.06 – 490.30 จี·เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเจลที่มีการเติมสารประกอบแคลเซียมทั้งในรูปของเกลือและผงเปลือกหอยมุก มีผลต่อการเพิ่มค่าแรงและความแข็งแรงเจลซูริมิจากปลาผสมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

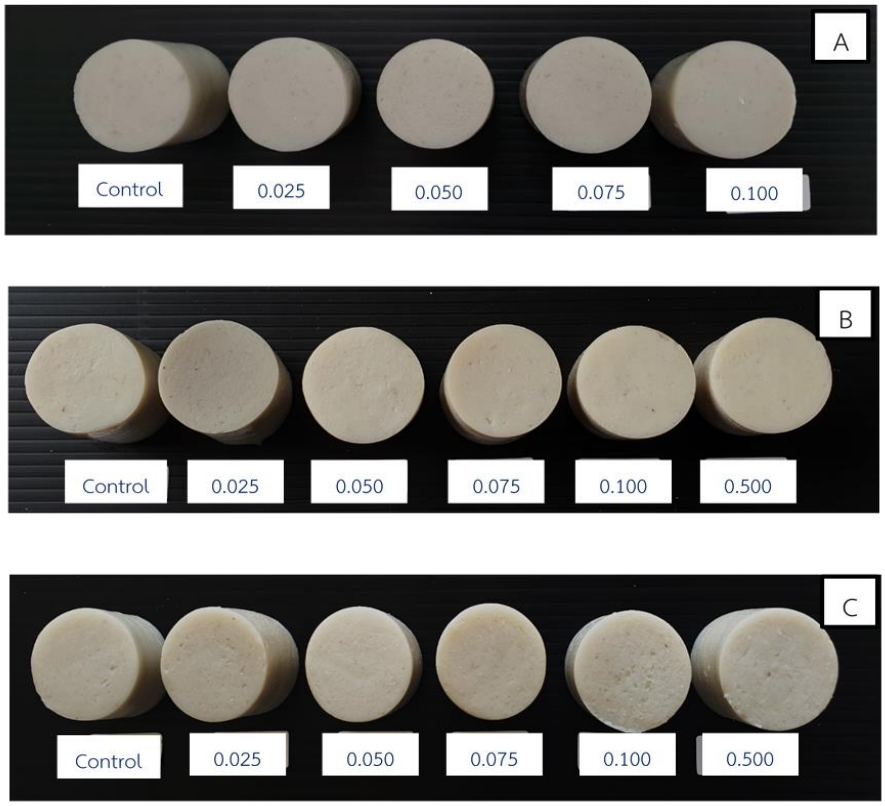


ภาพที่ 2 สมบัติการเกิดเจลของซูริมิจากปลาผสมที่เป็นผลมาจากการเติมผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ระดับต่าง ๆ (ร้อยละ 0.025-0.5) เปรียบเทียบกับแคลเซียมคลอไรด์ โดยที่ (A) คือ แรงก่อนการเจาะทะลุ (B) คือ ระยะทางก่อนการเจาะทะลุ (C) คือ ความแข็งแรงเจล

หมายเหตุ : กราฟแท่งแสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) โดยที่สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของตัวอย่างเจลซูริมิชนิดเดียวกันที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของเจลซูริมิที่ระดับความ เข้มข้นเดียวกัน สำหรับสัญลักษณ์ " * " แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของเจลซูริมิเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

2.2 ค่าความขาวและปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัดของเจลซูริมิ

จากการศึกษาผลของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนต่อค่าความขาวและปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัดของเจลซูริมิ (ตารางที่ 2) พบว่า ค่าความขาวของเจลซูริมิจากปลาผสมที่เติมผงเปลือกหอยมุก (ทั้ง SP และ CP) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 72.01-74.77) ตามระดับความเข้มข้นของผงเปลือกหอยมุกที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเจลที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์และเจลชุดควบคุม โดยพบว่าเจลชุดควบคุม มีค่าความขาวต่ำที่สุด (ร้อยละ 72.26) และเจลชุดที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์มีค่าความขาวคิดเป็น ร้อยละ 71.65 - 72.91 โดยผลการทดลองสอดคล้องกับข้อมูลในภาพถ่ายที่แสดงในภาพที่ 3 สำหรับการศึกษาปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัดเจล ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลพบว่าเจลชุดควบคุมมีปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด คิดเป็นร้อยละ 5.04 ในขณะที่เจลชุดที่มีการเติมแต่งด้วยสารประกอบแคลเซียมคลอไรด์ และผงเปลือกหอยมุกทั้งชนิด SP และ CP พบปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัดคิดเป็นร้อยละ 4.26-6.66 3.98-4.85 และ 4.85-8.26 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันแปรตามปริมาณที่ใช้



ภาพที่ 3 เจลซูริมิจากปลาผสมที่เป็นผลมาจากการเติมผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่การเผาที่ระดับต่างๆ (ร้อยละ 0.025-0.5) โดยที่ (A) คือ เจลซูริมิที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) (B) คือเจลซูริมิที่เติมผงเปลือกหอยมุกที่ไม่ผ่านการเผา SP (C) คือ เจลซูริมิที่เติมผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านการเผา CP

ตารางที่ 2 ค่าความขาวและปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัดของเจลซูริมิจากปลาผสมที่เป็นผลมาจากการเติมผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ระดับต่างๆ (ร้อยละ 0.025-0.5)

เจลซูริมิ	ระดับความเข้มข้น (ร้อยละ)	ค่าความขาว (ร้อยละ)	ปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด (ร้อยละ)
ชุดควบคุม	-	72.26 ± 0.32	5.04 ± 0.67
แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)	0.025	72.12 ± 0.37^{bcB}	4.46 ± 0.72^{bA}
	0.05	72.27 ± 0.03^{abcB}	4.33 ± 0.23^{bA}
	0.075	71.65 ± 0.44^{cB}	4.26 ± 0.50^{bB}
	0.1	72.34 ± 0.39^{abB}	4.61 ± 0.37^{bB}
	0.5	72.91 ± 0.40^{aB}	$6.66 \pm 0.74^{aB*}$
ผงเปลือกหอยมุกไม่ผ่านการเผา (SP)	0.025	72.01 ± 0.09^{bC}	4.34 ± 0.35^{bAB}
	0.05	$73.04 \pm 0.28^{aA*}$	4.85 ± 0.40^{aA}
	0.075	72.02 ± 0.47^{bAB}	$3.94 \pm 0.35^{bB*}$
	0.1	72.27 ± 0.24^{bB}	$3.98 \pm 0.18^{bB*}$
	0.5	$73.20 \pm 0.55^{aB*}$	$4.16 \pm 0.22^{bC*}$
ผงเปลือกหอยมุกผ่านการเผา (CP)	0.025	72.74 ± 0.12^{abA}	4.85 ± 0.45^{bA}
	0.05	73.37 ± 0.28^{cA}	5.51 ± 1.36^{bA}
	0.075	72.70 ± 0.17^{bcA}	5.63 ± 0.38^{bA}
	0.1	74.08 ± 0.14^{bcA}	$7.39 \pm 1.2^{aA*}$
	0.5	$74.77 \pm 0.19^{aA*}$	$8.26 \pm 0.40^{aA*}$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงผลในรูป ของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{abc} ในแนวคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของเจลซูริมิชนิดเดียวกันที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน

^{ABC} ในแนวคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของเจลซูริมิที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของเจลซูริมิเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. <u>การจำแนกลักษณะของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการเผา</u>

จากการศึกษาการจำแนกลักษณะของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการเผา (CP และ SP ตามลำดับ) พบว่าในผงเปลือกหอยมุก SP มีเถ้าเป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 95.74 โดยน้ำหนักเปียก) และมีปริมาณแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 41.17 นอกจากนี้ตรวจพบความชื้นและโปรตีนเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.68 และ 3.12 ตามลำดับ) (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang & Zhang (2006) พบว่า ในโครงสร้างของเปลือกหอยแมลงภู่มีแคลเซียม

คาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก ร้อยละ 95-99 และมีสารประกอบอินทรีย์ (โปรตีนและพอลีแซคาไรด์) อยู่น้อยกว่า ร้อยละ 5 ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตและส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของเปลือกของหอย โดยทั่วไปโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปผลึก คือ แคลไซต์ (Calcite) ซึ่งพบบริเวณผิวด้านนอก มีพื้นผิวขรุขระ และอะราโกไนต์ (Aragonite) ซึ่งพบบริเวณเปลือกด้านในมีลักษณะมันวาวคล้ายไข่มุก อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและประเภทของสัตว์น้ำ (Hou *et al*., 2016) โดย Hou *et al.* (2016) รายงานว่าแคลเซียมที่พบในเปลือกหอยนางรม หอยแมลงภู่ หอยแครง และกระดองปู พบในปริมาณที่แตกต่างกันได้แก่ ร้อยละ 53.81 53.70 53.92 และ 22.34 ตามลำดับ ซึ่งภายหลังจากกระบวนการเผา (Calcination) พบว่าผงเปลือกหอย CP มีปริมาณเถ้า คิดเป็นร้อยละ 99.37 (โดยน้ำหนักเปียก) และไม่สามารถตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบโปรตีนและไขมันได้ เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวสารอินทรียต่าง ๆ ได้ถูกหมดเผาไหม้ร่วมกับออกซิเจน เกิดเป็นออกไซด์ที่ระเหยได้ และสูญสลายไป เหลือเพียงแต่ออกไซด์ของสารอนินทรีย์ที่ระเหยไม่ได้ และเมื่อตรวจสอบปริมาณแคลเซียมในตัวอย่าง CP พบว่ามีปริมาณสูงขึ้น (โดยพบปริมาณ ร้อยละ 62.04) Laonapakul *et al.* (2019) รายงานว่าแคลเซียมที่พบในเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยทากที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 600-900 องศาเซลเซียส มีปริมาณถึงร้อยละ 95-98 เปรียบเทียบกับเปลือกหอยทั้งสองชนิดที่ไม่ผ่านการเผาที่พบปริมาณแคลเซียม ร้อยละ 93 ทั้งนี้เป็นเพราะภายใต้การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงออกไซด์ของโลหะบางตัว เช่น ออกไซด์ของเหล็ก (Fe) ซีลีเนียม (Se) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) อาจระเหยหายไปบางส่วน จึงทำให้ธาตุที่เหลืออยู่มีสัดส่วนที่เข้มข้นขึ้น นอกจากนี้ Laonapakul *et al.* (2019) ยังพบธาตุ Na Sr Cl Si Mg S Fe Al K Mn P และ Ba ปริมาณเล็กน้อยในเปลือกหอยทั้งสองชนิด และพบว่าสัดส่วนของธาตุดังกล่าวมีปริมาณลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิการเผาเพิ่มสูงขึ้น เมื่อตรวจสอบค่าสีและค่าความขาวของผงเปลือกหอยมุกพบว่า เปลือกหอย SP มีค่า L* (ค่าความสว่าง) ที่ต่ำกว่า และมีค่า a* (ค่าสีแดง) และ b* (ค่าสีเหลือง) ที่สูงกว่าผงเปลือกหอย CP และเมื่อพิจารณาจากค่าความขาว พบว่า SP มีค่าที่ต่ำกว่า CP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยธรรมชาติเปลือกหอยมุกมีโครงสร้าง 3 ชั้น คือ 1) เพอริโอสตราคัม (Periostratum) เป็นชั้นนอกสุด เป็นแผ่นบางมีสี ส่วนประกอบทางเคมีเป็นสารโปรตีนที่แข็งเหมือนโปรตีนของเขาสัตว์ มีชื่อเฉพาะว่า คอนโอลิน (Conchiolin) 2) พริสเมติก (Prismatic) เป็นชั้นกลางที่หนาและแข็งแรงที่สุด มีความหนามากกว่าชั้นอื่นส่วนประกอบทางเคมีเป็นผลึกทรงสูงของแคลเซียมคาร์บอเนต อยู่อัดตัวกันแน่น และเรียงตั้งฉากกับชั้นแรก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโครงสร้างผลึกแคลไซต์ และ 3) เนเครียส (Nacreous) เป็นชั้นในสุด เป็นผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบางและมันวาวเรียงซ้อนๆกัน เรียกว่า ชั้นมุก ซึ่งความหนาบางมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของหอย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เปลือกหอยมีความขาวขุ่น และความมันวาวแตกต่างกัน ซึ่งการให้ความร้อนแก่เปลือกหอยส่งผลต่อการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปผลึกอะราโกไนต์เป็นโครงสร้างผลึกเป็นแคลไซต์ เมื่อใช้อุณหภูมิของการเผาที่ 400 องศาเซลเซียส และจะเริ่มเปลี่ยนจากแคลเซียมคาร์บอเนตไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ (ลักษณะผลึกขาว ทึบ) เมื่อได้รับความร้อนมากกว่า 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Raju *et al*., 2003) โดยผลการทดลองสอดคล้องกับภาพถ่ายที่แสดงในภาพที่ 1 ที่พบว่าผงเปลือกหอย CP มีความขาวกว่าผงเปลือกหอย SP อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อธิบายได้ว่าในผงเปลือกหอย SP ยังพบปริมาณของสารอินทรีย์ในกลุ่มของโปรตีนและไขมันอยู่จำนวนหนึ่งซึ่งมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการรอผลิตหรือรอวิเคราะห์ โดยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีหมู่คาร์บอนิลสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของโปรตีนในปฏิกิริยาเมลลาร์ดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนของการอบไล่ความชื้น จึงทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีความคล้ำเหลือง

นอกจากนี้อาจเป็นอิทธิพลร่วมจากรงควัตถุในเปลือกหอยผง ซึ่งภายหลังจากการบวนการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ได้สลายตัวไปอย่างสมบูรณ์ดังแสดงจากการตรวจไม่พบปริมาณโปรตีนและไขมันในตัวอย่าง CP จึงทำให้ไม่มีสารตั้งต้นที่จำเป็นต้องใช้ในปฏิกิริยาเมลลาร์ด รวมถึงรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบกลุ่มโปรตีนก็ถูกทำลายไปในระหว่างกระบวนการเผาด้วย จึงทำให้ผงเปลือกหอย CP มีความขาวมากกว่าผงเปลือกหอย SP ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าการเตรียมเปลือกหอยด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูงสามารถเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมและปรับปรุงสีของผงเปลือกหอยมุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. <u>*การศึกษาผลของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนต่อสมบัติการเกิดเจลจากซูริมิปลาผสม*</u>

ค่าแรง ระยะทางในการเจาะทะลุ และค่าความแข็งแรงเจลซูริมิ : จากการศึกษาสมบัติการเกิดเจลของซูริมิปลาผสมในสภาวะที่มีและไม่มีผงเปลือกหอยมุกที่เตรียมโดยกระบวนการทางความร้อนเปรียบเทียบกับเจลที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ และเจลชุดควบคุม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้แคลเซียมคลอไรด์หรือผงเปลือกหอยมุกที่สูงขึ้น (ร้อยละ 0.025 - 0.5) ส่งผลต่อค่าแรงก่อนการเจาะทะลุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2A) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเจลชุดที่มีการเติมผงเปลือกหอยมุก SP และ CP พบการเพิ่มขึ้นของค่าแรงก่อนการเจาะทะลุสูงสุดเมื่อใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.075 แสดงให้ว่าเห็นผงเปลือกหอยมุกสามารถช่วยปรับปรุงความแข็งแรงเจลได้ เช่นเดียวกับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากในผงเปลือกหอยมุกมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีถึงบทบาทของแคลเซียมต่อการเป็นสารปรับปรุงคุณภาพเจล จากการศึกษาของ Yongsawatdikul *et al.* (2002) พบว่าเอนไซม์ทราส์กลูตามิเนสที่สกัดได้จากกล้ามเนื้อปลาทรายแดงมีกิจกรรม 99.6 ยูนิต/กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งภายหลังจากการล้างและกำจัดน้ำออกในขั้นตอนของการผลิตซูริมิยังคงพบกิจกรรมของเอนไซม์ทราส์กลูตามิเนสเหลืออยู่ร้อยละ 44 และต้องการ Ca^{2+} ในการดำเนินกิจกรรมในการเชื่อมข้ามของสายโปรตีนระหว่าง γ-carboxamide ของกลูตามีนกับหมู่เอมีนของไลซีน เกิดเป็นไอโซเพปไทด์ ε-(γ- glutamyl) lysine ซึ่งเป็นพันธะโคเวเลนท์ และมีบทบาทโดยตรงต่อความแข็งแรงเจลในขั้นตอนของการเซ็ตตัว โดยพบว่าการเติม Ca^{2+} ร้อยละ 0.2 สามารถปรับปรุงค่าแรงก่อนการเจาะทะลุและเพิ่มการเชื่อมประสานโปรตีนไมโอซินเส้นหนักของเจลซูริมิที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Yongsawatdigul *et al*., 2002) นอกจากนี้ Benjakul *et al.* (2004) รายงานว่า การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสภายในกล้ามเนื้อปลาโดยแคลเซียมคลอไรด์สามารถปรับปรุงคุณสมบัติการเกิดเจลซูวาริของปลาเขตร้อน โดยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปลาต่างชนิดกันจะมีความไวต่อ Ca^{2+} ที่แตกต่างกัน Kishi *et al.* (1991) รายงานว่า เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในกล้ามเนื้อปลา Walleye Pollack ต้องการ Ca^{2+} 3 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในกล้ามเนื้อปลาคาร์ป ต้องการ Ca^{2+} 5 มิลลิโมลาร์ ในการกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ซึ่งนอกเหนือจากกลไกดังกล่าว ยังพบว่า Ca^{2+} สามารถเข้าไปจับกับประจุลบของสายโปรตีนด้วยแรงยึดระหว่างประจุทำให้เกิดการเชื่อมประสานของโปรตีนมากขึ้นควบคู่ไปกับค่าแรงเจาะทะลุที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ผงเปลือกหอยมุก CP และแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับมากกว่าร้อยละ 0.075 กลับส่งผลต่อการลดลงของค่าแรงก่อนการเจาะทะลุและค่าความแข็งแรงเจล (ภาพที่ 2C) ทั้งนี้สันนิษฐานว่าการใช้แคลเซียมในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนจากปรากฏการณ์ salting out ซึ่งการเพิ่มปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มากเกินไปส่งผลให้โปรตีนสูญเสียความสามารถในการละลายและทำให้เกิดการตกตะกอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แคลเซียมในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ได้การเซ็ตตัวของเจลซูริมิที่ดีที่สุด และจากผลการทดลองพบว่าผงเปลือกหอยมุก SP ให้แรงในการเจาะทะลุและค่าความแข็งแรงเจลดีกว่าผงเปลือกหอย

CP ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณแคลเซียมในตัวผงเปลือกหอยมีความแตกต่างกัน แม้จะใช้ในปริมาณเท่ากันแต่ระดับแคลเซียมในผงเปลือกหอยชุด CP มีมากกว่า ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เจลจึงกลับทำให้ผลการปรับปรุงคุณภาพเจลแย่กว่าชุด SP ดังนั้นสำหรับการศึกษาในครั้งต่อไปด้านการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะทำการทดลองเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างเปลือกหอยมุกที่เท่ากัน สำหรับการศึกษาระยะทางก่อนการเจาะทะลุของเจลซูริมิ การเติมผงเปลือกหอยมุกและแคลเซียมคลอไรด์แสดงดังภาพที่ 2B พบว่าระยะทางก่อนการเจาะทะลุมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) โดยทั่วไปค่าแรงและระยะทางก่อนการเจาะทะลุ มักใช้เป็นดัชนีในการบ่งชี้คุณภาพของซูริมิ โดยค่าแรงในการเจาะทะลุจะบ่งบอกถึงความแข็งแรงเจล ในขณะที่ระยะทางในการเจาะทะลุแสดงถึงความยืดหยุ่น ดังนั้นจะเห็นว่าแคลเซียมในผงเปลือกหอยมีผลโดยตรงต่อการปรับปรุงความแข็งแรงเจลมากกว่าการพัฒนาความยืดหยุ่นในซูริมิจากปลาผสม

ค่าความขาวและปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด : จากการศึกษาผลของผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนต่อค่าความขาวและปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด (ตารางที่ 2) พบว่า ค่าความขาวของเจลซูริมิจากปลาผสมที่เติมผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านการเผามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับการเติมแคลเซียมคลอไรด์และเจลชุดควบคุม ซึ่งโดยปกติแคลเซียมจากเปลือกหอยมุก (SP) ส่วนมากจะอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีความสามารถในการละลายต่ำที่พีเอชเป็นกลาง เมื่อเติมลงไปในเจลจะกระจายทั่วไปใน ตัวเจล เมื่อแสงส่องมาที่เจลจะทำให้เกิดกระเจิงของแสงทำให้มองเห็นเจลที่สว่างขึ้น นอกจากนี้ในเปลือกหอยมุกมีแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปผลึกอะราโกไนต์ (ข้อมูลไม่ได้แสดงในการศึกษานี้) ที่ให้ความวาวแสง อย่างไรก็ตามเจลซูริมิชุดที่มีการเติมผงเปลือกหอยมุก CP จะให้ค่าความขาวของเจลมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผงเปลือกหอยมุก SP ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสีของผงเปลือกหอยมุกที่เตรียมได้จากการเผามีความขาวกว่า (ตารางที่ 1) เนื่องจากการเผาจะทำให้สารอินทรีย์บางส่วนในผงเปลือกหอยมุกสูญสลายไป เช่น โปรตีน และไขมัน อันเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด) นอกจากนี้อาจเป็นเพราะว่าแคลเซียมในผงเปลือกหอยมุก CP ซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) (ความสามารถในการละลายน้ำ เท่ากับ 1.19 กรัม/ลิตร) (Wikipedia, 2020a) ซึ่งอาจจะละลายได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (ความสามารถในการละลายน้ำ เท่ากับ 0.015 กรัม/ลิตร) (Wikipedia, 2020b) ส่งผลให้เมื่อกระจายตัวอยู่ในเจลทำให้เกิดการกระเจิงของแสงที่ดีกว่า มากไปกว่านั้นยังพบรายงานสนับสนุนว่าค่าความขาวของเจลสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด เนื่องจากปริมาณที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเจลเป็นสาเหตุของการกระเจิงแสง ณ บริเวณพื้นผิวเจล (Petcharat & Benjakul, 2017)

เมื่อพิจารณาปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัดของเจลพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($P < 0.05$) สำหรับเจลที่มีการเติมสารเติมแต่ง (แคลเซียมคลอไรด์และผงเปลือกหอย SP) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเจลชุดควบคุม แสดงถึงการอุ้มน้ำที่สูงกว่า โดยเจลชุดที่มีการเติมผงเปลือกหอย SP มีปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัดลดลง เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้นถึงระดับร้อยละ 0.075โดยพบว่าปริมาณของเหลวที่เกิดจากบีบอัดต่ำสุดคือร้อยละ 3.94 สอดคล้องกับค่าแรงในการเจาะทะลุและค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุด (ภาพที่ 2A และ 2C) ซึ่งอธิบายได้ว่าในขั้นตอนของการเซ็ตตัว โปรตีนจะเกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ เป็นโครงข่ายสามมิติที่อุ้มน้ำไว้ในโครงสร้าง ซึ่งพบว่าโครงข่ายเจลที่แข็งแรงเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสภายในกล้ามเนื้อ ที่ต้องอาศัยแคลเซียมในการดำเนินกิจกรรม (Benjakul & Visessanguan, 2003) นอกจากนี้ Arfat & Benjakul (2013) พบว่าการใช้เกลือไดวาเลนท์ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเพิ่มการเชื่อมประสานโครงข่ายเจล

ที่เป็นระเบียบ และปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำ อย่างไรก็ตามการใช้ผงเปลือกหอยที่มีแคลเซียมในปริมาณที่สูงเกินไป (ร้อยละ 0.1 และ 0.5) มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของเจลที่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณของ Ca^{2+} ที่สูงเกินไปทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงร่างอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการจับรวมตัวกันแบบสุ่มเป็นผลให้โครงสร้างตาข่ายสามมิติของเจลที่ได้ไม่มีความต่อเนื่อง เจลจึงกักเก็บน้ำไว้ได้ปริมาณต่ำ น้ำจึงถูกปลดปล่อยออกจากโครงข่ายเจลส่งผลให้เจลมีค่าปริมาณของเหลวบีบอัดสูง และเป็นที่น่าสังเกตว่าเจลที่มีการเติมผงเปลือกหอยมุก CP มีค่าปริมาณของเหลวที่เกิดจากการบีบอัดเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระดับการเติมเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงสมบัติของเจลที่ไม่ดีและไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงข่ายของโปรตีน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการจับตัวตกตะกอนของโปรตีนที่รุนแรงเมื่อมีการใช้แคลเซียมในปริมาณที่สูงจนเกินไป Barbut (1994) รายงานว่า การใช้เกลือไดวาเลนท์ ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม ทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน และสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ในโครงข่าย ดังนั้นจะเห็นว่าแคลเซียมมีผลต่อสมบัติของเจล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่าผงเปลือกหอย SP ที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 0.075 สามารถปรับปรุงความแข็งแรงเจลและให้ความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดี

สรุปผลการวิจัย

การเติมผงเปลือกหอยมุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน สามารถปรับปรุงสมบัติการเกิดเจลของซูริมิจากปลาผสมได้ ดังแสดงจากค่าแรงก่อนการเจาะทะลุ ค่าความแข็งแรงเจล ค่าความขาว และความสามารถในการอุ้มน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.075 เป็นระดับที่เพียงพอต่อการปรับปรุงเจลซูริมิ ดังแสดงค่าแรงและระยะทางก่อนการเจาะทะลุ รวมถึงค่าความแข็งแรงเจลสูงสุด โดยการใช้ผงเปลือกหอยมุกที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (SP) สามารถปรับปรุงคุณภาพของเจลได้ดีกว่าการใช้แคลไซน์จากเปลือกหอย (CP) และให้คุณภาพเทียบเท่ากับเจลที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแคลเซียมจากธรรมชาติที่ได้จากเปลือกหอยมุกสามารถเป็นสามารถปรับปรุงคุณภาพเจลซูริมิปลาผสมเกรดต่ำได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาผลของแคลเซียมที่แท้จริงในเปลือกหอยมุกทั้งสองตัวอย่างในเจลซูริมิควรต้องทำการศึกษาเชิงลึกเพิ่มเติมในโอกาสต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับการสนับสนุนทุนนักวิจัยรุ่นใหม่ จากงบประมาณเงินรายได้คณะฯ ตลอดจนการอำนวยความสะดวกและการเอื้อเฟื้อพื้นที่วิจัยให้สำเร็จลุล่วง รวมถึงขอขอบพระคุณบริษัทแมน เอ โฟรสเซนฟู้ดส์ จำกัด ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างซูริมิสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. Official methods of analysis, (17th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Arfat, Y., & Benjakul, S. (2013). Gel strengthening effect of zinc salts in surimi from yellow stripe trevally. *Food Bioscience*, *3*, 1-9.

Ashie, I. N. A., & Lanier, T. C. (2000). Transglutaminase in seafood processing. In N. F. Haard, & B. K. Simpson (Eds.), *Seafood enzymes: utilization and influence on postharvest seafood quality* (pp. 147–166). New York: Marcel Dekker.

Banlue, K. Chottanom, P., Suwannarong S., Bunya, K. & Sommai, M. (2019). Effects of fish scale powder on physicochemical and sensory properties of Playor. *Khon Kaen Agriculture Journal, 47*(Suppl. 1), 1311-1316. (in Thai)

Barbut, S. (1994). Protein gel ultrastructure and functionality. In N. Hettiarachchy & G.R. Ziegler (Eds.), *Protein Functionality in Food Systems*. (pp. 383-434). New York: Marcel Dekker.

Benjakul, S., & Karnjanapratum, S. (2018). Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker fortified with tuna bone bio-calcium powder. Food Chemistry, *259*, 181-187.

Benjakul, S., & Visessanguan, W., (2003). Transglutaminase-mediated setting in bigeye snapper surimi. *Food Research International*, *36*(3), 253-266.

Benjakul, S., Visessanguan, W., & Pecharat, S. (2004). Suwari gel properties as affected by transglutaminase activator and inhibitors. *Food Chemistry*, *85*(1), 91-99.

Benjakul, S., Visessanguan, W., & Srivilai, C. (2001). Gel properties of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) surimi as affected by setting and porcine plasma proteins. *Journal of Food Quality, 24*(5), 453-471.

Chanarat, S., Benjakul, S., H-Kittikun, A. (2012). Comparative study on protein cross-linking and gel enhancing effect of microbial transglutaminase on surimi from different fish. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 92*(4), 844-852.

Department of International Trade Promotion. (2019). *Trade report of pearl*. Retrieved April, 12, 2020, from http://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomTopNRecode&Option=3&Lang=Th&ImExType=1&comcode=302010300. (in Thai)

Feist, B. & Mikula, B. (2014). Preconcentration of heavy metals on activated carbon and their determination in fruits by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Food Chemistry*, *147*, 302-306.

Hfocus. (2018). *What is the reason of 90% of Thai people are sufficient dietary calcium intake*. Retrieved October, 15, 2018, from https://www.hfocus.org/content/2018/12/16655. (in Thai)

Hou, Y., Shavandi, A., Carne, A., Bekhit, A. A., Ng, T. B., Cheung, R. C. F., & Bekhit, A. E.-D. A. (2016). Marine shells: Potential opportunities for extraction of functional and health-promoting materials. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 46*(11-12), 1047-1116.

Jung, W.-K. & Kim, S.-K. (2007). Calcium-binding peptide derived from pepsinolytic hydrolysates of hoki (*Johnius belengerii*) frame. *European Food Research and Technology*, *224*(6), 763-767.

Kaplan, D. L. (1998). Mollusk shell structures: Novel design strategies for synthetic materials. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, *3*(3), 232-236.

Kishi, H., Nozawa, H., & Seki, N. (1991). Reactivity of muscle transglutaminase on carp myofibrils and myosin B. *Nippon Suisan Gakkaishi, 57*(6), 1203–1210.

Kumazawa, Y., Numazawa, T., Seguro, K., & Motoki, M. (1995).Suppression of surimi setting by transglutaminase inhibitors. *Journal of Food Science*, *60* (4), 715–717.

Laonapakula, T, Sutthia, R., Chaikoolb P. Mutohc, Y., & Chindaprasirt, P. (2016). Optimum conditions for preparation of bio-calcium from blood cockle and golden apple snail shells and characterization. *Science Asia, 45*(1), 10-20.

Petcharat, T., & Benjakul, S. (2017). Effect of gellan and calcium chloride on properties of surimi gel with low and high setting phenomena. *RSC Advances*, 7(83), 52423-52434.

Positioning. (2020). *Surimi: Market expander but raw material insufficient*. Retrieved April, 11, 2020, from https://positioningmag.com/25401. (in Thai)

Steel R.G.D & Torrie J.H. (1980). Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. McGraw-Hill, New York.

Waheed, M., Butt, M. S., Shehzad, A., Adzahan, N. M., Shabbir, M. A., Rasul Suleria, H. A., & Aadil, R. M. (2019). Eggshell calcium: A cheap alternative to expensive supplements. *Trends in Food Science & Technology*, *91*, 219-230.

Wikipedia. (2020a). *Calcium carbonate.* Retrieved April, 13, 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_carbonate#Solubility.

Wikipedia. (2020b). Calcium oxide. Retrieved April, 13, 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_oxide.

Yongsawatdigul J., Worratao, A. & Park J.W. (2002). Effect of endogenous transglutaminase on threadfin bream surimi gelation. *Journal of Food Science, 67*(9), 3258-3263.

Zhang, C., & Zhang, R. (2006). Matrix Proteins in the Outer Shells of Molluscs. *Marine Biotechnology, 8*(6), 572-586.