

การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลลูกชิ้นปลา โดยใช้กัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica* L.) Textural Improvement of Fish Ball Gel by Using Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Gum

วารางคณา สมพงษ์* และสิริการ หนูสิงห์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Warangkana Sompongse* and Sirikan Noo-sing

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลลูกชิ้นปลาโดยใช้กัมเมล็ดมะขาม เปรียบเทียบสารละลายกัมเมล็ดมะขามเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก แปรปริมาณการเติมร้อยละ 5, 10 และ 12.5 โดยน้ำหนัก ทั้งหมดลงในเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาเกะซี เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมกัม) พบว่าการเติมกัมเมล็ดมะขามได้เจลลูกชิ้นปลาที่มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความขาวลดลง แต่มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น จากการทดสอบการพบว่าเจลลูกชิ้นปลาที่เติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 10 และ 12.5 มีคะแนนการพับสูงที่สุด และมีปริมาณน้ำที่สูญเสียอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าการเติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 10 ได้เจลลูกชิ้นปลาที่มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รวมถึงมีค่า hardness, adhesiveness และ gumminess สูงที่สุด เมื่อพิจารณาโครงสร้างระดับจุลภาคพบว่าการเติมกัมเมล็ดมะขามทำให้โครงสร้างร่างแหของเจลโปรตีนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 10 และ 12.5 เจลลูกชิ้นปลาที่เติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ : กัมเมล็ดมะขาม; ซูริมิปลาเกะซี; สมบัติในการเกิดเจล; เจลลูกชิ้นปลา

Abstract

The objective of this research was to improve the texture of fish ball gel made by goatfish (*Mulloidichthys martinicus*) surimi by addition of tamarind gum. The 10% gum solution (w/w) was

added to batter at 5, 10 and 12.5 % of total weight. Increasing tamarind gum concentration trended to decrease in lightness (L^*) and whiteness, but increased in redness (a^*) of fish ball gel. The fish ball gel with 10 and 12.5 % gum showed the highest folding test scores and the lowest expressible water ($p \leq 0.05$). The addition of 10 % gum in fish ball exhibited the highest gel strength ($p \leq 0.05$), and high values in hardness, adhesiveness and gumminess. The microstructure of fish ball gel appeared that the addition of gum would induce more interconnected three-dimensional protein network. The addition of gum at 10 and 12.5 % showed denser protein network than that of 5 % gum addition and control. Fish ball gel with 10 % gum had the highest textural liking score and contained higher carbohydrate content than that of the control ($p \leq 0.05$).

Keywords: tamarind gum; goatfish surimi; gelation properties; fish ball gel

1. บทนำ

กัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica* L.) หรือทามารินกัม (tamarind gum) สกัดได้จากเมล็ดมะขามในส่วนของเอนโดสเปิร์ม โครงสร้างเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทไซโคลลูแคน ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาล 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลกโทสต่อกันเป็นสายโซ่ยาว มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 720,000-880,000 ดาลตัน [2] โครงสร้างสายหลักของกัมเมล็ดมะขามประกอบด้วย (1→4)- β -D-glucan ต่อกันเป็นสายหลัก โดยพวงกัมที่สกัดจากเมล็ดมะขาม สามารถละลายน้ำได้ดี ทนทานต่อสภาวะที่เป็นกรดต่างได้ดีและเกิดเจลได้ โดยสามารถเกิดเจลได้ในระบบที่มีน้ำตาล ซึ่งเป็นสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพกทินจากผลไม้ จึงมีการนำมาใช้ในการสร้างเจลที่คล้ายกับเพกทินในผลิตภัณฑ์ เช่น แยม เยลลี่ มาร์มาเลด แต่สิ่งที่แตกต่างจากเพกทินที่ได้จากผลไม้ คือ เจลของกัมเมล็ดมะขามอยู่ในสภาวะที่เป็นกลาง จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น กัมเมล็ดมะขามได้รับอนุญาตให้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยใช้เป็นสารให้ความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความข้นหนืด และสารที่ทำให้เกิด

เจล กัมเมล็ดมะขามจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับกัมชนิดอื่น ได้แก่ กัวร์กัม แอลจินต เป็นต้น [3]

สิริการ และวรางคณา [4] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและการทำแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของกัมเมล็ดมะขาม คือ การสกัดโดยใช้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 90 °ซ นาน 3 ชั่วโมง และการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารละลายกัมจากเมล็ดมะขามมีค่า $G' > G''$ ในทุกความเข้มข้นที่ศึกษา (ร้อยละ 3-5) เช่นเดียวกับการเติมเกลือร้อยละ 2.5 ซึ่งเป็นปริมาณเกลือที่ใช้ในการผลิตเจลลูกชิ้น สารละลายกัมเมล็ดมะขามยังคงมีค่า $G' > G''$ [5] แสดงให้เห็นว่าสารละลายกัมเมล็ดมะขามมีลักษณะเป็นสารที่มีความหนืดแต่ไม่เกิดเจล และเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นสารละลายกัมเมล็ดมะขามมีค่า G'' และ G' ลดลง เนื่องมาจากการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้นของสายพอลิเมอร์ ทำให้ไหลได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาการใช้กัมเมล็ดมะขามในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น

งานวิจัยนี้จึงได้นำกัมเมล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะที่เหมาะสม [4] ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาชี่ ด้วยการตั้งสมมุติฐานว่าความสามารถในการเกิดโครงสร้างร่างแหที่สามารถ

กากเก็บน้ำเอาไว้ภายในของกัมเมล็ดมะขามนั้น จะสามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิได้

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การสกัดกัมเมล็ดมะขาม

นำผงเนื้อเมล็ดมะขาม (tamarind kernel powder) ที่เตรียมตามวิธีการของ สิริการ และ วรางคณา [4] มาสกัดโดยใช้น้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 90 °ซ นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้สารผสมตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง รินสารละลายส่วนใสด้านบนออก และปรับ pH ให้อยู่ในช่วงประมาณ 5.8-6.0 โดยใช้ 2 M NaOH และ 2 M HCl จากนั้นนำสารละลายไปตกตะกอนด้วย 95 % เอทานอล โดยใช้อัตราส่วน 1:2 (สารผสม : เอทานอล) และกรองแบบสุญญากาศโดยใช้ผ้ากรอง นำส่วนตะกอนมาทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาบดให้เป็นผง และร่อนผ่านตะแกรง (35-50 mesh) ได้กัมเมล็ดมะขาม

2.2 การศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลลูกชิ้นปลาโดยใช้กัมเมล็ดมะขาม

2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

(1) ซูริมิ นำซูริมิแช่เยือกแข็งเกรด A จากปลาฉลาม (Mulluichthys martinicus) จากบริษัท อันตามันซูริมิ อินดัสทรี จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร มาแบ่งเป็นก้อนขนาดประมาณ 700 กรัม บรรจุใส่ถุงสุญญากาศ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 ± 2 °ซ จนกว่าจะนำมาใช้

(2) กัมเมล็ดมะขาม เตรียมสารละลายกัมเมล็ดมะขามเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก กวนอย่างสม่ำเสมอจนเป็นเนื้อเดียวกัน เทใส่กล่องที่มีฝาปิด แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 ± 2 °ซ จนสารละลายกลายเป็นน้ำแข็ง จากนั้นจึงนำมาตัดเป็นชิ้น

ขนาดเล็กก่อนนำไปใช้ โดยการเติมสารละลายกัมเมล็ดมะขามทดแทนในสัดส่วนของน้ำแข็งที่ใช้ในการปรับปริมาณความชื้นของเจลลูกชิ้นปลา

2.2.2 ปัจจัยที่ศึกษา

แปรปริมาณสารละลายกัมเมล็ดมะขามเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5, 10 และ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด หรือคิดเป็นร้อยละ 0.49, 0.97 และ 1.23 โดยน้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ

2.2.3 วิธีการผลิตเจลลูกชิ้นปลา มีรายละเอียดดังนี้

(1) การเตรียมวัตถุดิบ: นำซูริมิที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 ± 2 °ซ มาละลาย โดยวางทิ้งไว้ในห้องแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 °ซ นาน 12 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กประมาณ 1 เซนติเมตร นำไปแช่เย็นจนได้อุณหภูมิประมาณ 4 °ซ

(2) วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของซูริมิด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบอินฟราเรด โดยใช้ตัวอย่างน้ำหนัก 1 กรัม

(3) คำนวณปริมาณน้ำแข็งที่ใช้ในสูตรการผลิต เพื่อให้เจลลูกชิ้นปลามีความชื้นร้อยละ 85

(4) สับผสมซูริมิก่อนเป็นเวลา 30 วินาที แล้วจึงสับผสมซูริมิกับเกลี้อยู่ร้อยละ 2.5 โดยค่อย ๆ เติมเกลี้อย่างช้า ๆ และสับผสมต่อจนครบเวลา 1 นาที 15 วินาที ในสูตรที่มีการเติมกัมเมล็ดมะขาม นำกัมเมล็ดมะขามแช่เยือกแข็งที่ถูกตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กมาสับผสมก่อนเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นจึงสับผสมกับซูริมิต่อเป็นเวลา 30 วินาที แล้วจึงนำวัตถุดิบทั้งหมดมาสับผสมกับเกลี้อย่างช้า ๆ

(5) เติมพริกไทยร้อยละ 0.2 และน้ำแข็งสับผสมต่อจนครบเวลา 2 นาที 30 วินาที จะได้ส่วนผสมมวลเหนียวของเจลโปรตีนปลาที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (อุณหภูมิมวลเหนียวไม่เกิน 10 ± 2 °ซ)

(6) บรรจุส่วนผสมมวลเหนียวในไส้เซล-

ลูโลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร โดยมีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร มัดปลายทั้งสองข้างให้แน่น

(7) นำตัวอย่างไปต้มที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 30 นาที และตามด้วยอุณหภูมิ 90 °ซ เป็นเวลา 20 นาที

(8) แช่ตัวอย่างในอ่างน้ำผสมน้ำแข็ง เป็นเวลา 10 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิภายในลูกชิ้นมีค่าน้อยกว่า 10 °ซ

(9) บรรจุตัวอย่างลงในถุง เก็บแบบสุญญากาศ จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 °ซ เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำมาวิเคราะห์ทางกายภาพและทดสอบทางประสาทสัมผัส

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของเจลลูกชิ้นปลา

2.3.1 ค่าสีและความขาวของเจลลูกชิ้นปลา (whiteness)

(1) วิเคราะห์ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของเจลลูกชิ้นปลาโดยใช้เครื่องวัดสี HunterLab รุ่น Color Flex CX2687 ใช้ D65 illuminant เป็นแหล่งกำเนิดแสง และวัดด้วยค่ามุม 10 ° คำนวณค่าความขาวดังสมการ ความขาว (whiteness) = $100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$ [6]

(2) การทดสอบการพับ (folding test) การทดสอบการพับ โดยตัดตัวอย่างหนา 0.4 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm แล้วพับครึ่ง และพับครึ่งต่ออีกครั้งหรือพับเป็นหนึ่งโน้ต คงไว้นาน 5 วินาที ตรวจสอบการแตกและให้คะแนนตามเกณฑ์ [7] โดยคะแนน 5 หมายถึง ตัวอย่างไม่มีรอยแตกเลย เมื่อถูกพับสี่ส่วน คะแนน 3 หมายถึง ตัวอย่างแตกขาดจากกันเมื่อถูกพับสี่ส่วน แต่มีรอยแตกเมื่อพับครึ่ง และคะแนน 1 หมายถึง ตัวอย่างแตกขาดจากกัน เมื่อถูกพับครึ่ง

(3) การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลา โดยวาง

เจลลูกชิ้นปลาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28-30 °ซ) ตัดตัวอย่างสูง 2.5 เซนติเมตร และนำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น TA-XTPlus (Stable Micro Systems, Surrey, UK) โดยใช้หัววัดที่แตกต่างกัน 2 ลักษณะดังนี้

(3.1) ค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength: g.cm) คำนวณจากการคูณกันของแรงที่ใช้ในการกดให้ผิวหน้าเจลแตก (breaking force, g) กับระยะทางที่หัววัดกดผิวหน้าจนกระทั่งผิวหน้าเจลแตก (deformation, cm) โดยใช้หัววัด spherical probe P/5s [6]

(3.2) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธี texture profile analysis (TPA) รายงานค่า hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness และ gumminess โดยใช้หัววัด cylinder probe P/50 และตั้งค่าการกดเป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงในการกดสองครั้งด้วยความเร็วคงที่ 5 mm/s [6]

(4) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (% expressible water) วิเคราะห์โดยตัดตัวอย่างให้มีความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 0.5 x 1 x 0.5 เซนติเมตร นำไปวางระหว่างกระดาษกรอง Whatman® No. 4 ด้านบนตัวอย่าง 2 แผ่น และด้านล่างตัวอย่าง 3 แผ่น กดด้วยแรงคงที่ขนาด 10 kg/cm² เป็นเวลา 2 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังการกด นำไปคำนวณร้อยละของน้ำที่ถูกขับออกมาภายหลังการกดดังสมการ expressible water (%) = $[100 \times (\text{น้ำหนักก่อนถูกกด} - \text{น้ำหนักหลังถูกกด}) \div \text{น้ำหนักก่อนถูกกด}]$ [6]

(5) การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค ตัดชิ้นตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาให้มีขนาดไม่เกิน 5 ตารางมิลลิเมตร และหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร นำไปแช่ 2.5 % glutaraldehyde ในสารละลาย 0.1M phosphate buffer (pH 7.2) เป็นเวลา 1 คืน ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 °ซ จากนั้นล้างชิ้นตัวอย่างด้วยสารละลาย

phosphate buffer 2 ครั้ง เป็นเวลา 10 นาทีต่อครั้ง และล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่น เป็นเวลา 10 นาที กำจัดน้ำออกจากชิ้นตัวอย่างด้วยการแช่ในชุดความเข้มข้นของ ethanol (30, 50, 70 และ 95 %) เป็นเวลา 30 นาทีต่อหนึ่งความเข้มข้น และ absolute ethanol 3 ครั้งเป็นเวลา 10 นาทีต่อครั้ง ทำชิ้นตัวอย่างให้แห้งถึงจุดวิกฤต (Critical point dryer, Balzers รุ่น CPD 020) และเคลือบชิ้นตัวอย่างด้วยทอง (Sputter coater, Balzers รุ่น SCD 040) และสังเกตโครงสร้างในระดับจุลภาคของตัวอย่างด้วยกล้อง scanning electron microscope (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5410LV)

2.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ลวกตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 5 นาที ตัดเป็นชิ้นหนา 1 เซนติเมตร และทดสอบโดยใช้ผู้บริโภครวบรวมจำนวน 30 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ (ไม่พิจารณารูปร่าง) สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 3 = ไม่ชอบ, 5 = เฉย ๆ, 7 = ชอบ และ 9 = ชอบมากที่สุด)

2.3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำลูกชิ้นปลาสุตควบคุม (ไม่เติมกัม) และสูตรที่ได้รับการคัดเลือกมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก AOAC [8] และปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรม

คอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ

3.1.1 ค่าสี (L^* a^* b^*) และค่าความขาวของเจลลูกชิ้นปลา

ตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมกัมเมล็ดมะขามมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (72.01 ± 2.93) โดยการเติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมดมีค่า L^* น้อยที่สุดเท่ากับ 67.09 ± 3.27 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดง (a^*) พบว่าการเติมกัมเมล็ดมะขามทำให้เจลลูกชิ้นปลามีค่า a^* เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (1.86 ± 0.90) โดยการเติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 10 และ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด มีค่า a^* สูงที่สุดเท่ากับ 2.72 ± 0.57 และ 2.92 ± 0.55 ตามลำดับ แต่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมปลาช่อนที่มีการเติมกัมเมล็ดมะขามและตัวอย่างควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างควบคุมมีค่าความขาวมากที่สุดเท่ากับ 69.37 ± 2.31 และเมื่อมีการเติมกัมเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้น ทำให้เจลลูกชิ้นปลามีค่าความขาวลดลง โดยลูกชิ้นปลาที่เติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 12.5 มีค่าความขาวน้อยที่สุด (64.77 ± 2.81)

เนื่องจากกัมเมล็ดมะขามที่ศึกษาในการทดลองนี้เป็นกัมที่ยังไม่บริสุทธิ์ (crude gum) และไม่ได้ผ่านการฟอกสี ทำให้กัมที่ได้มีสีน้ำตาล (มีค่า L^* เท่ากับ 52.71 ± 0.58 , a^* เท่ากับ 6.19 ± 0.28 และค่า b^* เท่ากับ 14.02 ± 0.64 [4]) ซึ่งเป็นสีที่ได้จากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดมะขามที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิสูงในขั้นตอนการกำจัดเปลือกก่อนนำมาสกัด ดังนั้นเมื่อนำมาเตรียมเป็นสารละลายกัมเมล็ดมะขาม จึงได้

สารละลายที่มีสีน้ำตาล และเมื่อเติมลงไปในระบบเจลโปรตีนจึงทำให้เจลโปรตีนมีค่า L^* ลดลง และมีค่า a^* เพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมกัมเมลิติมะขามเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับค่าความขาวของเจลลูกชิ้นปลาที่มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมกัมเมลิติมะขามเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และค่า

ความขาวลดลงตามปริมาณการเติมกัมเมลิติมะขามที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ซูริมิจากปลาเกะที่ใช้ในการผลิตเป็นซูริมิที่มีสีค่อนข้างแดง ไม่ขาว ดังนั้นค่าความขาวของเจลลูกชิ้นปลาที่เป็นสูตรควบคุมจึงมีค่าไม่สูงมาก (69.37 ± 2.31) และเมื่อเติมกัมเมลิติมะขามที่มีสีน้ำตาลลงไป จึงส่งผลให้ค่าความขาวยิ่งมีค่าลดลง

ตารางที่ 1 ค่าสี (L^* a^* b^*) และค่าความขาวของเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาเกะที่มีการเติมกัมเมลิติมะขามในปริมาณที่ต่างกัน

กัมเมลิติมะขาม (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด)	L^*	a^*	b^{*ns}	Whiteness
0 (ควบคุม)	72.01 ± 2.93^a	1.86 ± 0.90^b	12.13 ± 0.80	69.37 ± 2.31^a
5	70.16 ± 2.92^{ab}	2.34 ± 0.76^{ab}	12.18 ± 0.60	67.63 ± 2.43^{ab}
10	68.92 ± 2.65^{bc}	2.72 ± 0.57^a	12.30 ± 0.58	66.42 ± 2.21^{bc}
12.5	67.09 ± 3.27^c	2.92 ± 0.55^a	12.10 ± 0.60	64.77 ± 2.81^c

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 6$); ^{a, b, c} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$); ^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.1.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

(1) การทดสอบการพับ การเติมกัมเมลิติมะขาม ทำให้เจลลูกชิ้นปลามีคะแนนการทดสอบการพับเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (3.17 ± 0.94) โดยการเติมกัมเมลิติมะขามร้อยละ 5, 10 และ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด มีคะแนนการทดสอบการพับสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 3.67 ± 0.99 , 4.17 ± 0.72 และ 4.08 ± 0.79 ตามลำดับ โดยเพิ่มจากระดับคุณภาพเจลปานกลาง (3 คะแนน) ในตัวอย่างควบคุม เป็นเจลที่ดี (4 คะแนน) เนื่องจากการเติมกัมเมลิติมะขามทำให้เจลโปรตีนของลูกชิ้นปลามีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างร่างแหของเจลโปรตีนของกัมเมลิติมะขาม นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมกัมเมลิติมะขามในปริมาณที่มากเกินไป คือ

ร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด คะแนนการทดสอบการพับมีค่าลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการเติมกัมเมลิติมะขามร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของเจลของเจลลูกชิ้นปลา (ตารางที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงของเจลลูกชิ้นปลาที่เติมกัมเมลิติมะขามมากเกินไปมีค่าลดลงจากการรบกวนโครงสร้างร่างแหของโปรตีน อย่างไรก็ตาม การเติมกัมเมลิติมะขามสามารถปรับปรุงความ สามารถในการเกิดเจลของลูกชิ้นปลาจากซูริมิจากปลาเกะได้

(2) ความแข็งแรงของเจล ตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาเกะที่มีการเติมกัมเมลิติมะขามมีค่า breaking force เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3, $p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (137.94 ± 27.22 g) โดยมีค่าเท่ากับ 157.56 ± 17.73 ,

194.30±27.40 และ 167.43±18.55 g สำหรับเจลลูกชิ้นปลาที่เติมกัมเมิลต์มะขามร้อยละ 5, 10 และ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า deformation ของตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาพบว่า เจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมกัมเมิลต์มะขามร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด มีค่า deformation สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือ 0.676±0.06 cm ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาที่เติมกัมปริมาณร้อยละ 5 และ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด มีค่า deformation ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) การเติมกัมเมิลต์มะขามร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด ทำให้ได้เจลลูกชิ้นที่มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เท่ากับ 132.81±30.96 g·cm เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (88.20±29.96 g·cm) ในขณะที่เจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมกัมเมิลต์มะขามร้อยละ 5 และ 12.5 โดยน้ำหนัก

ทั้งหมด มีค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 98.43±19.34 และ 98.84±15.98 g·cm ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 2 คะแนนการพับของเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาภาษีที่มีการเติมกัมเมิลต์มะขามในปริมาณที่ต่างกัน

กัมเมิลต์มะขาม (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด)	คะแนนการพับ
0 (ควบคุม)	3.17±0.94 ^b
5	3.67±0.99 ^{ab}
10	4.17±0.72 ^a
12.5	4.08±0.79 ^a

แสดงเป็นคะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 6)

ตารางที่ 3 ค่า breaking force, deformation และ gel strength ของเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาภาษีที่มีการเติมกัมเมิลต์มะขามในปริมาณที่ต่างกัน

กัมเมิลต์มะขาม (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด)	Breaking force (g)	Deformation (cm)	Gel strength (g·cm)
0 (ควบคุม)	137.94±27.22 ^c	0.623±0.09 ^b	88.20±29.96 ^b
5	157.56±17.73 ^b	0.620±0.05 ^b	98.43±19.34 ^b
10	194.30±27.40 ^a	0.676±0.06 ^a	132.81±30.96 ^a
12.5	167.43±18.55 ^b	0.588±0.03 ^b	98.84±15.98 ^b

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 6); ^{a, b, c} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

โครงสร้างเจลโปรตีนจากเนื้อปลามีลักษณะเป็นโครงสร้างร่างแหที่สานกันเป็นตาข่าย 3 มิติ ทำให้สามารถกักเก็บน้ำเอาไว้ภายในโครงสร้างร่างแหดังกล่าวได้ ถ้าการสานกันของโครงสร้างร่างแหโปรตีนดังกล่าวมีความเป็นระเบียบ สม่าเสมอ รวมถึง

โปรตีนกลั่นเนื้อที่มีคุณภาพที่ดี จะส่งผลต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเจลลูกชิ้นปลา ทำให้ได้เจลลูกชิ้นที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมาก [9] โดยการเติมกัมเมิลต์มะขามลงในตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลา ทำให้เจลลูกชิ้นปลามีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบ

เทียบกับตัวอย่างควบคุม และมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุดเมื่อเติมกัมเมลิตมะขามร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด ค่าความแข็งแรงของเจล เป็นค่าที่แสดงถึงความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายที่เกิดจากการรวมตัวกันของเส้นใยโปรตีน [10] เมื่อเติมกัมเมลิตมะขาม กัมเมลิตมะขามจะเข้าไปแทรกตัวและกระจายตัวอยู่ในโครงสร้าร่างแหของเจลโปรตีนปลา ทำให้โครงสร้าเจลโปรตีนมีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลลูกชิ้นปลามีค่าเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับค่า breaking force ซึ่งแสดงถึงแรงที่ใช้ในการกดเจลให้แตกที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเติมกัมเมลิตมะขามเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากกัมเมลิตมะขามเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ประเภทไฮโดรคอลลอยด์คอลลอยด์ที่ไม่มีประจุนี้เมื่ออยู่ในระบบเจลโปรตีนจากเนื้อปลาจะทำหน้าที่เป็นสารเติมเต็ม (filler) [9,13] โดยจะทำหน้าที่แทรกกระจายตัวอยู่ภายในระบบของโปรตีน แต่ไม่เกิดอันตรกิริยากับเจลโปรตีนโดยตรง ดังงานวิจัยของ Montero และคณะ [13] ซึ่งศึกษาโครงสร้าระดับจุลภาคและลักษณะการเกิดเจลของเจลโปรตีนจากปลา blue whiting บด เมื่อมีการเติมไฮโดรคอลลอยด์พบว่าไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่มีประจุจะกระจายตัวไปทั่ว matrix ของโปรตีน แต่จะไม่เกิดอันตรกิริยากับโปรตีน นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดความหนืด จะเกิดเป็นเส้นใยสานกันอยู่ภายในช่องว่างของเจลโปรตีน ซึ่งกัมเมลิตมะขามนอกจากจะเป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มที่ไม่มีประจุแล้ว ยังมีคุณลักษณะความเป็นของเหลว (liquid-like characteristic) ซึ่ง [5] ได้รายงานว่สารละลายกัมเมลิตมะขามมีค่า $G' > G''$ ในทุกความเข้มข้นที่ศึกษา (ร้อยละ 3-5) เช่นเดียวกับการเติมเกลือ ร้อยละ 2.5 ซึ่งเป็น

ปริมาณเกลือที่ใช้ในการผลิตเจลลูกชิ้น สารละลายกัมเมลิตมะขามยังคงมีค่า $G' > G''$ แสดงให้เห็นว่ สารละลายกัมเมลิตมะขามมีลักษณะเป็นสารที่มีความหนืดแต่ไม่เกิดเจล ดังนั้นเมื่อเติมลงในระบบเจลโปรตีน จึงสามารถไหลไปมาในโครงสร้าของเจลโปรตีนได้ นอกจากนี้การกระจายตัวของกัมเมลิตมะขามในโครงสร้าเจลโปรตีนนั้น เกิดได้ดียิ่งขึ้นเมื่อนำเจลลูกชิ้นปลาไปให้ความร้อนในระหว่างการผลิต เนื่องจากเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น สารละลายกัมเมลิตมะขามมีค่า G'' และ G' ลดลง อันเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้นของสายพอลิเมอร์ ทำให้ไหลได้ดีขึ้น [5] จึงทำให้กัมเมลิตมะขามสามารถแทรกตัวเข้าไปภายในช่องว่างของเจลโปรตีนได้ โดยไม่เกิดอันตรกิริยากับโปรตีนเหมือนกับการเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุ เช่น คาร์ราจีแนน แชนแทนกัม ส่งผลให้เจลโปรตีนของเนื้อปลามีความแข็งแรงมากขึ้น และสามารถกักเก็บน้ำเอาไว้ภายในโครงสร้าได้มากขึ้น เนื่องจากกัมเมลิตมะขามประกอบไปด้วยหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) จำนวนมาก

แต่เมื่อเติมกัมเมลิตมะขามเพิ่มมากขึ้นจนถึงร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด พบว่เจลลูกชิ้นปลามีค่าความแข็งแรงของเจลลดลง (98.84 ± 15.98 g-cm) เนื่องจากกัมเมลิตมะขามเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีลักษณะโครงสร้าเป็นกิ่งก้านสาขา และมีโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ และเป็นสารที่ทำให้หนืด แต่ไม่เกิดเจล ดังนั้นเมื่อเติมในปริมาณที่มากเกินไป จึงทำให้ระบบของเจลโปรตีนมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ สิริการ และวรางคณา [5] ที่รายงานว่ค่า G' มีค่าเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่มีคุณลักษณะความเป็นของแข็งเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของสารพอลิเมอร์ในระบบ ประกอบกับโครงสร้าของกัมที่มีขนาดใหญ่ ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลกัมไปแทรกหรือเติมเต็มในโครงสร้าร่างแห

ของเจลโปรตีนทำได้ยากขึ้น จึงเกาะกลุ่มเป็นก้อน ซึ่งอาจไปรบกวนโครงสร้างร่างแหของเจลโปรตีน และมีการกระจายตัวของกัมที่ไม่สม่ำเสมอในระบบเจลโปรตีน จึงทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลของเจลลูกขึ้น

ปลาที่เติมกัมเมล็ดมะขามสูงร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่เติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 4 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลลูกขึ้นปลาจากซูริมิปลาขาวที่มีการเติมกัมเมล็ดมะขามในปริมาณที่ต่างกัน

กัมเมล็ดมะขาม (%)	Hardness (g)	Adhesiveness (g-sec)	Springiness ^{ns}	Cohesiveness ^{ns}	Gumminess (g)
0 (ควบคุม)	1605.63±256.97 ^c	-31.71±35.72 ^a	0.930±0.02	0.768±0.014	1233.52±205.46 ^c
5	1864.35±170.72 ^b	-69.01±54.95 ^{ab}	0.941±0.02	0.767±0.009	1431.17±42.43 ^b
10	2108.69±282.12 ^a	-113.87±57.04 ^b	0.938±0.03	0.772±0.010	1630.21±231.54 ^a
12.5	1990.28±359.10 ^{ab}	-106.42±88.40 ^b	0.951±0.01	0.762±0.007	1516.43±271.88 ^{ab}

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 6); ^{a, b, c} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$); ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

(3) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA ค่า hardness และ gumminess ของเจลลูกขึ้นปลาที่มีการเติมกัมเมล็ดมะขามสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4, $p \leq 0.05$) โดยมีค่าสูงที่สุดในตัวอย่างเจลลูกขึ้นปลาที่มีการเติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด แต่มีค่า springiness และ cohesiveness ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาค่า TPA ซึ่งเป็นการทดสอบเลียนแบบการเคี้ยวอาหารของคน พบว่าการเติมกัมเมล็ดมะขามลงในเจลลูกขึ้นปลา ทำให้ค่า hardness ซึ่งเป็นแรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการกดตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และมีความมากที่สุดเมื่อมีการเติมกัมเมล็ดมะขามร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด แต่มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมกัมร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าความแข็งแรงของเจล แสดงให้เห็นว่าเจลโปรตีนมีความแข็งแรงมากขึ้นจากการเติมกัมเมล็ดมะขาม จึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการกดเจลลูกขึ้นให้แตกออก แต่

ความแข็งแรงลดลงเมื่อมีการเติมกัมเมล็ดมะขามที่มากเกินไป เนื่องมาจากการรบกวนโครงสร้างที่เป็นระเบียบของเจลโปรตีน และการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของกัมเมล็ดมะขาม ซึ่งผลการทดลองนี้มีแนวโน้มเดียวกันกับค่า gumminess นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมกัมเมล็ดมะขามลงในเจลลูกขึ้นปลา ทำให้ค่า adhesiveness ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยึดติดของชิ้นอาหารกับห้ววัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากกัมเมล็ดมะขามเป็นสารที่ให้ความหนืด เมื่อเติมลงในปริมาณมากขึ้นจึงทำให้เจลลูกขึ้นปลามีลักษณะเหนียวขึ้น จึงยึดติดกับห้ววัดได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมกัม ส่วนค่า springiness และ cohesiveness ของเจลลูกขึ้นปลาที่มีการเติมกัมเมล็ดมะขามและตัวอย่างควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

(4) ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ตัวอย่างเจลลูกขึ้นปลาที่มีการเติมกัมเมล็ดมะขาม มีปริมาณน้ำที่

สูญเสียน้ำ (% expressible water) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 5, $p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ร้อยละ 32.35 ± 3.87) โดยตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่มีการเติมกัมเมลลิตดมะขามร้อยละ 10 และ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียน้ำต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เท่ากับร้อยละ 26.69 ± 1.86 และ 24.58 ± 4.28 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำที่สูญเสียของเจลลูกชิ้นปลา
จากซูริมิปลาถาษีที่มีการเติมกัมเมล็ด
มะขามทีในปริมาณที่ต่างกัน

ปริมาณกัมเมล็ดมะขาม (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด)	ปริมาณน้ำที่ สูญเสีย (%)
0 (ควบคุม)	32.35±3.87 ^a
5	30.05±2.02 ^a
10	26.69±1.86 ^b
12.5	24.58±4.28 ^b

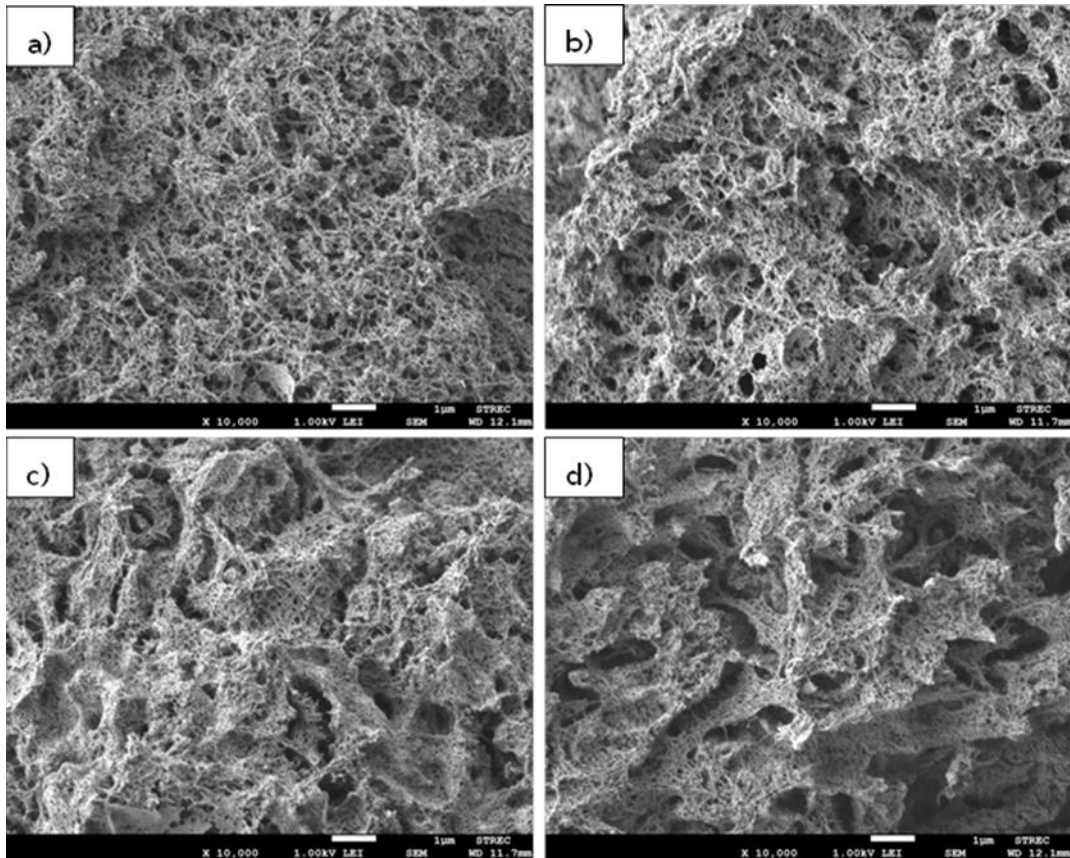
แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 6$);
a, b ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณน้ำที่สูญเสียเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากโครงสร้างของเจลโปรตีน เป็นค่าที่บ่งชี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลโปรตีน หากเจลโปรตีนมีปริมาณน้ำที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากโครงสร้างมาก แสดงว่ามีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ต่ำ ในทางกลับกัน หากเจลปลดปล่อยน้ำออกมาจากโครงสร้างได้น้อย แสดงว่ามีความสามารถในการกักเก็บน้ำเอาไว้ภายในโครงสร้างที่ดี ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลโปรตีนนี้ ถือเป็นสมบัติที่สำคัญ ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเจลลูกชิ้นปลาที่ผู้บริโภคต้องการ [14] กัมเมล็ดมะขามเป็น

สารไฮโดรคอลลอยด์ที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำเป็นจำนวนมาก จึงเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้ดี [3,11,12] ดังนั้นเมื่อเติมลงไปในระบบของเจลโปรตีนจึงแทรกเข้าไปในร่างแหของเจลโปรตีน และช่วยจับน้ำเอาไว้ให้อยู่ภายในโครงสร้างร่างแหของโปรตีนได้ การเติมกัมเมตต์มะขามลงในเจลลูกชิ้นในปริมาณที่มากขึ้น จะช่วยจับน้ำเอาไว้ในโครงสร้างร่างแหได้มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่โครงสร้างเจลปลดปล่อยออกมามีปริมาณน้อยลง ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียจึงลดลง

(5) การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค เจลลูกชั้นปลาจากซูริมิปลาถ้ำที่ไม่มีกำมะถัน มีโครงสร้างระดับจุลภาคที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ที่สม่ำเสมอ โปร่ง และมีระเบียบ (รูป 1a) เมื่อมีการเติมกำมะถัน 5 โดยน้ำหนักทั้งหมด ลงในเจลลูกชั้นปลา ทำให้โครงสร้างร่างแหที่เป็นตาข่าย 3 มิติ มีความหนาแน่นมากขึ้น ความโปร่งของโครงสร้างตาข่ายลดลง ช่องว่างภายในโครงสร้างร่างแหของโปรตีนมีขนาดเล็กลง (รูป 1b) และความหนาแน่นของโครงสร้างนี้เพิ่มขึ้นเมื่อเติมกำมะถันเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10 และ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ (รูป 1c และ 1d ตามลำดับ)

เนื่องจากกัมเมล็ดมะขามเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่มีประจุ จึงทำหน้าที่เป็นสารเติมเต็ม ที่แทรกกระจายเข้าไปอยู่ในโครงสร้างร่างแหของโปรตีน [13] ทำให้โครงสร้างร่างแหโปรตีนที่สานกันอย่างหนาแน่นและแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายกัมเมล็ดมะขาม มีคุณลักษณะความเป็นของเหลวมากกว่าความเป็นของแข็ง ($G'' > G'$) แม้จะอยู่ในระบบที่มีเกลีอร้อยละ 2.5 [5] เมื่อผสมกับซูริมิ จึงสามารถกระจายผสมกับซูริมิได้ดี เมื่อนำไปให้ความร้อน สารละลายกัมเมล็ดมะขามมีค่า G'' และ G' ลดลงจากการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้นของสายพอลิ



รูปที่ 1 โครงสร้างระดับจุลภาคของเจลลูกขึ้นปลาจากซูริมิปลาถาซี (กำลังขยาย 10,000 เท่า) (a) เจลลูกขึ้นปลาจากซูริมิปลาถาซีสูตรควบคุม (ไม่เติมกัม) (b) เจลลูกขึ้นปลาจากซูริมิปลาถาซีที่เติมกัมเมลต์มะขามร้อยละ 5 โดยน้ำหนักทั้งหมด (c) เจลลูกขึ้นปลาจากซูริมิปลาถาซีที่มีการเติมกัมเมลต์มะขามร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด และ (d) เจลลูกขึ้นปลาจากซูริมิปลาถาซีที่มีการเติมกัมเมลต์มะขามร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด

เมอร์ จึงสามารถแทรกกระจายเข้าไปในโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนได้มากขึ้นและดีขึ้น ซึ่งสังเกตเห็นโครงสร้างระดับจุลภาคที่เป็นโครงสร้างตาข่ายร่างแหโปรตีนที่มีความหนาแน่นมากขึ้น แต่การเติมกัมเมลต์มะขามร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด (รูป 1d) เห็นได้ว่า แม้ทำให้โครงสร้างร่างแหของโปรตีนมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากกัมเมลต์มะขามมีโครงสร้างขนาดใหญ่ และมีคุณลักษณะความเป็นของเหลว จึงเป็นสารละลายที่มีความหนืดแต่ไม่เกิดเจล

การเติมในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้กัมเมลต์มะขามเคลื่อนที่แทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างร่างแหของโปรตีนได้ยาก จึงรวมตัวอยู่เป็นก้อน และสังเกตเห็นลักษณะเป็นโพรงขนาดใหญ่กระจายอยู่ในเจลโปรตีน ลักษณะดังกล่าวเกิดจากการที่สารละลายกัมที่กระจายตัวผสมอยู่กับซูรินั้นไหลได้มากขึ้นเมื่อได้รับความร้อน [5] ดังนั้นเมื่อกัมพยายามแทรกกระจายตัวเข้าไปในช่องว่างของโครงสร้างร่างแหตาข่าย จึงเกิดเป็นโพรงขนาดใหญ่ในตำแหน่งเดิมที่กัมเคยอยู่ ซึ่งทำให้

โครงสร้างร่างแหของโปรตีนไม่มีความสม่ำเสมอทั้งหมดนี้ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเจล และค่า hardness ของเจลลูกชิ้นปลาที่เติมกัมเมลต์มะขามเมื่อเติมกัมเมลต์มะขามเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมดมีค่าลดลง

3.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาได้รับคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 6, $p > 0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ถึงปานกลางสำหรับลักษณะปรากฏ และมีคะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยสำหรับลักษณะทางด้านสี กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ในด้านความชอบโดยรวมนั้น คะแนนความชอบเพิ่มขึ้น

เมื่อมีการเติมกัมเมลต์มะขามเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด (6.35 ± 0.99) และคะแนนลดลงเมื่อเติมกัมเมลต์มะขามเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด (6.17 ± 1.04)

ส่วนในด้านเนื้อสัมผัส ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วงเฉย ๆ จนถึงชอบเล็กน้อย โดยคะแนนความชอบเพิ่มขึ้น เมื่อเติมกัมเมลต์มะขามในเจลลูกชิ้นปลา เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมกัม) (5.57 ± 1.53) โดยได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดเมื่อเติมกัมเมลต์มะขามร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด มีคะแนนเท่ากับ 6.22 ± 1.29 และมีคะแนนลดลงเมื่อเติมกัมเมลต์มะขามสูงถึงร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมด โดยมีคะแนนเท่ากับ 6.02 ± 1.16

ตารางที่ 6 คะแนนทางประสาทสัมผัสของเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาจากปลาที่ทำการเติมกัมเมลต์มะขามในปริมาณที่ต่างกัน

กัมเมลต์มะขาม (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด)	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่นรส ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม ^{ns}
0 (ควบคุม)	6.95 ± 1.17	6.83 ± 1.26	6.03 ± 1.10	5.57 ± 1.53^b	6.03 ± 1.16
5	6.98 ± 1.30	6.92 ± 1.23	6.18 ± 1.34	5.85 ± 1.23^{ab}	6.32 ± 1.08
10	7.02 ± 1.18	6.90 ± 1.16	6.22 ± 1.44	6.22 ± 1.29^a	6.35 ± 0.99
12.5	7.10 ± 1.13	6.95 ± 1.13	6.05 ± 1.19	6.02 ± 1.16^{ab}	6.17 ± 1.04

แสดงเป็นคะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 30$); ^{a, b} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$); ^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ผลการทดลองพบว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสอดคล้องกับคะแนนการพบ ค่าความแข็งแรงของเจล และค่า hardness ของเจล ลูกชิ้นปลาที่เติมกัมเมลต์มะขาม การเติมกัมเมลต์มะขามร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักทั้งหมดนั้น ทำให้ค่าทางเนื้อสัมผัสลดลงเช่นเดียวกับคะแนนความชอบ อันเนื่องมาจากกัมเมลต์มะขามไปรบกวนโครงสร้างของเจลลูกชิ้นปลา

การพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาจากปลาที่เติมกัมเมลต์มะขามเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่าสูตรที่ได้รับการคัดเลือก คือ เจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาจากปลาที่เติมกัมเมลต์มะขามเข้มข้นร้อยละ 10 ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด หรือคิดเป็นปริมาณกัมเมลต์

มะขามร้อยละ 0.97 โดยน้ำหนักทั้งหมด เพื่อนำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมกัมเมลต์มะขามเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

3.3 องค์ประกอบทางเคมีของลูกชิ้นปลา

ตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมกัมเมลต์มะขามร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 7, $p > 0.05$) แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าตัวอย่างควบคุม

($p \leq 0.05$) เนื่องจากกัมเมลต์มะขามเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ [2] ดังนั้นการเติมกัมเมลต์มะขามจึงทำให้เจลลูกชิ้นปลามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ในซุริมียังประกอบด้วยซอร์บิทอลและน้ำตาลทรายซึ่งทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการแช่เยือกแข็ง จึงทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงในตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของเจลลูกชิ้นปลาจากซุริมีปลาจากที่ไม่มีและมีการเติมกัมเมลต์มะขามเข้มข้นร้อยละ 10 ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทั้งหมด

องค์ประกอบทางเคมี (โดยน้ำหนักสด)	ปริมาณกัมเมลต์มะขาม (% โดยน้ำหนักทั้งหมด)	
	0 (ควบคุม)	10
ความชื้น ^{ns}	80.28±0.44	79.66±0.52
โปรตีน ^{ns}	10.74±0.14	10.67±0.16
ไขมัน ^{ns}	0.18±0.018	0.11±0.09
เถ้า ^{ns}	1.73±0.03	1.69±0.07
คาร์โบไฮเดรต (คำนวณ)	7.08±0.57 ^b	7.93 ± 0.62 ^a

แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3); ^{a, b} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวบนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$); ^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4. สรุป

4.1 การเติมกัมเมลต์มะขาม ทำให้เจลลูกชิ้นปลาจากซุริมีปลาจากมีค่าความสว่าง (L^*) และความขาวลดลง แต่มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น เจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมกัมเมลต์มะขามร้อยละ 10 มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รวมถึงค่า hardness, adhesiveness และ gumminess สูงที่สุด เจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมกัมเมลต์มะขามปริมาณ ร้อยละ 10 และ 12.5 มีคะแนนการพับสูงที่สุดและมีปริมาณน้ำที่สูญเสียออกน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2 การเติมกัมเมลต์มะขามทำให้โครงสร้างร่างแหของเจลโปรตีนมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมกัมเมลต์มะขามเพิ่มขึ้นในปริมาณร้อยละ 10 และ 12.5

4.3 เจลลูกชิ้นปลาที่เติมกัมเมลต์มะขามปริมาณร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่จัดสรรทุนสนับสนุนงานวิจัย ประเภททุนวิจัยทั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2555 และทุนวิจัยทั่วไป สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2556 ในการสนับสนุนงบประมาณวิจัยครั้งนี้

6. รายการอ้างอิง

- [1] Milani, J. and Maleki, G. Hydrocolloids in Food Industry, Available Source: <http://www.intechopen.com/books/food-industrial-processes-methods-and-equipment/hydrocolloids-in-food-industry>, March 2, 2012.
- [2] วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน, 2553, ทามารีนกัมจากเมล็ดมะขาม, ว.พระจอมเกล้าพระนครเหนือ 20: 173-180.
- [3] Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R., 2002, Gelling behavior of polyose from tamarind kernel polysaccharide, Food Hydrocoll. 16: 423-426.
- [4] สิริการ หนูสิงห์ และวรางคณา สมพงษ์, 2558, การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและการทำแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของกัมเมล็ดมะขาม, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 23(1): 43-58.
- [5] สิริการ หนูสิงห์ และวรางคณา สมพงษ์, 2558, ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica* L.), การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 53, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [6] ภัทริรา สุดเลิศ และวรางคณา สมพงษ์, 2557, การใช้สารสกัดจากสาหร่ายโพรงในผลิตภัณฑ์เจลลูกชิ้นปลา, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 22(1): 67-78.
- [7] กรมประมง, 2541, การตรวจสอบคุณภาพซูริมิ, สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- [8] AOAC, 1997, Official method of analysis, 16th Ed., Association of Official Chemists, Washington, D.C.
- [9] สุทธิวัฒน์ เบญจกุล, 2549, ซูริมิ : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาสด, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- [10] Perez-Mateos, M., Salas, T. and Montero, P., 2002, Carrageenan and alginate effects of combined pressure and temperature in fish minced gels, Food Hydrocoll. 16: 225-233.
- [11] Kumar, C.S. and Bhattacharya, S., 2008, Tamarind seed: Properties, processing and utilization, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 48: 1-20.
- [12] Khounvilay, K. and Sittikijyothin, W., 2012, Rheological behaviour of tamarind seed gum in aqueous solutions, Food Hydrocoll. 26: 334-338.
- [13] Montero, P., Hurtado, J.L. and Perez-Mateos, M., 2000, Microstructural behavior and gelling characteristics of myosystem protein gels with interacting with hydro colloids, Food Hydrocoll. 14: 455-461.
- [14] จักรี ทองเรือง, 2544, ซูริมิ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.