การผลิตลูกชิ้นปลาเสริมเจลบุกและสมุนไพร

Production of Fish Ball with Konjac Glucomannan Gel and Herbs

ศุภิสรา พิสุทธิโกศล, พัชรพร จิรแพศยสุข

และวรางคณา สมพงษ์*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Supissara Phisutthigoson, Phatcharaporn Jirapeatsayasuk

and Warangkana Sompongse*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,

Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani, 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาฤาษี (*Mulloidichthys martinicus*) เกรด A โดยเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (MTGase) ร่วมกับเจลบุก และเพื่อปรับปรุงกลิ่นรสให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยเติมผงสมุนไพร 3 ชนิด คือ ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด (1 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก) ซึ่งทำโดยการเติม MTGase ร้อยละ 0.18 ร่วมกับเจลบุก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเนื้อปลา เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม และแปรปริมาณผงสมุนไพร 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 2 หรือ 4 โดยน้ำหนักเนื้อปลา พบว่าการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุกทำให้ค่าความแข็งแรงของเจล ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้าน hardness, springiness, cohesiveness และ chewiness มากกว่าสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก แต่มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเติมสมุนไพรในปริมาณที่เพิ่มขึ้นในสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจล springiness และ cohesiveness ลดลง แต่ค่า hardness และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าลูกชิ้นที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก และสมุนไพรร้อยละ 2 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสี ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบโครงสร้างระดับจุลภาคที่อัดตัวกันแน่น มีช่องว่างภายในโครงสร้าง ตาข่ายโปรตีนที่มีขนาดเล็กลง เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ พบว่าลูกชิ้นที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก และสมุนไพรร้อยละ 2 มีปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) แต่มีปริมาณเถ้า และเส้นใยมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ : ลูกชิ้นปลา; ซูริมิปลาฤาษี; เจลบุก; เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส; สมุนไพร

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** wsompongse@hotmail.com

Abstract

The objective of this research is to improve textural properties of fish ball from goatfish surimi (*Mulloidichthys martinicus*) A grade by addition of microbial transglutaminase (MTGase) with konjac glucomannan (KGM) gel. Improvement of flavor for consumer acceptance was done by the addition of herbs. Herbs powder (galangal : lemon grass : kaffir lime leaf at 1 : 1 : 1 by weight) was added at 0, 2 or 4 % by fish weight to surimi with 0.18 % MTGase and 3 % KGM gel for comparison with a control (without MTGase and KGM). Fish ball with MTGase and KGM gel had significantly higher gel strength, hardness, springiness cohesiveness and chewiness, but lower expressible water than that of the control ($p \leq 0.05$). For fish ball with MTGase and KGM gel, increasing level of herbs had the lower gel strength, springiness and cohesiveness, but higher hardness and expressible water. Fish ball with MTGase, KGM gel and 2 % herbs had not significantly difference sensory scores in appearance and color from that of the control, but flavor, texture and overall liking scores were higher than that of the control ($p \leq 0.05$). Microstructure of fish ball with MTGase, KGM gel and 2 % herbs exhibited more compact and smaller space within protein gel network than that of the control. Proximate analysis expressed that fish ball with MTGase, KGM gel and 2% herbs was not significantly difference in moisture, lipid, protein and carbohydrate content ($p > 0.05$), but higher fiber and ash content than that of the control ($p \leq 0.05$).

Keywords: fish ball; goatfish surimi; konjac glucomannan gel; microbial transglutaminase; herb

1. บทนำ

ซูริมิ คือ ผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างด้วยน้ำเพื่อขจัดไขมัน และองค์ประกอบที่ละลายได้ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ โปรตีนที่ละลายน้ำ และมีปริมาณไขมันต่ำ [1] ซูริมิมีความสามารถในการเกิดเจลเมื่อผ่านความร้อน การเกิดเจลของซูริมิมีความสำคัญและจำเป็นต่อการระบุคุณภาพของซูริมิ การปรับปรุงคุณภาพเจลซูริมิทำโดยเติมสารปรับปรุงคุณภาพเจล เช่น แป้ง ไคโตซาน [2] การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ เช่น กลูโคแมนแนนจากหัวบุก (konjac glucomannan) [3] และการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (MTGase) เป็นตัวเร่งในการสร้างพันธะโควาเลนต์ชนิด **ε**-(γ-glutamyl) lysine จึงช่วยปรับปรุงการจัดเรียงตัวของโปรตีน [4] เพื่อให้ได้เจลซูริมิที่มีเนื้อสัมผัสดียิ่งขึ้นและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยทั่วไปมีการนำซูริมิมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ลูกชิ้น ไส้กรอก เนื้อปูเทียม หรือปูอัด เป็นต้น

กลูโคแมนแนนจากหัวบุกเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งที่มีความน่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในอาหาร รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมในอาหารประเภทผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากเป็นสารที่ให้พลังงานต่ำและจัดอยู่ในกลุ่มเส้นใยอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ (indigestible dietary fiber) ในลำไส้เล็กของมนุษย์ [5,6] ปัจจุบันมีการนำกลูโคแมนแนนจากหัวบุกมาใช้ในอาหารมากขึ้น เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการควบคุมน้ำหนัก ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเส้น-เลือด ช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ และช่วยป้องกันโรคหัวใจ [7-9]

สมุนไพรเป็นพืชอีกกลุ่มหนึ่ง ซึ่งมีการปลูกใช้ประโยชน์มานานแล้ว เพราะบางชนิดสามารถนำมารับประทานเป็นอาหาร ให้คุณค่าทางอาหารและเมื่อเติมลงในอาหารแล้วทำให้กลิ่นรสของอาหารดีขึ้น [10] เช่น ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูดที่มีน้ำมันหอมระเหยจึงช่วยดับกลิ่นคาวในอาหาร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาฤาษี (*Mulloidichthys martinicus*) เกรด A โดยเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (MTGase) ร่วมกับเจลบุกและปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยเติมผงสมุนไพร

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 สารเคมีและวัตถุดิบ

เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (transglutaminase, MTGase) ยี่ห้อ Activa® TG จาก บริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด (ประกอบด้วย calcium lactate ร้อยละ 75 maltodextrin และอื่น ๆ ร้อยละ 24 และ MTGase ร้อยละ 1) ผงบุกชนิด granular และแซนแทนกัม จาก บริษัท ไทยฟูด แอนด์ เคมิคอล จำกัด

สมุนไพร ได้แก่ ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด จากตลาดไท อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

ซูริมิแช่เยือกแข็งเกรด A จากปลาฤาษี (*Mulloidichthys martinicus)* จาก บริษัท อันดามัน-ซูริมิ อินดัสทรี จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร และเก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาใช้

2.2 ศึกษาปริมาณของสมุนไพรที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นปลา

2.2.1 การเตรียมเจลบุก

การเตรียมเจลบุก ดัดแปลงจากวิธีการของศิริลดา [11] โดยนำผงบุก 2.81 กรัม ผสมกับแซนแทนกัม 0.19 กรัม จากนั้นเทส่วนผสมลงใน บีกเกอร์ที่มีน้ำ 97 กรัม อย่างช้า ๆ คนส่วนผสมทั้งหมดให้ละลาย นำส่วนผสมทั้งหมดไปให้ความร้อนโดยอังบนอ่างน้ำเดือด พร้อมคนตลอดเวลาจนกระทั่งตัวอย่างมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก นำไปทำให้เย็นในอ่างน้ำเย็นเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้ผลิตลูกชิ้นปลา

2.2.2 การเตรียมสมุนไพรผง

สมุนไพรที่ใช้ คือ ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด โดยนำข่า ตะไคร้ที่หั่นเป็นแว่นหนา 1 มิลลิเมตร และใบมะกรูดไปอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง จนมีค่า a_w ประมาณ 0.5-0.6 จากนั้นนำไปบดละเอียดและนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh นำสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 โดยน้ำหนัก

2.2.3 การเตรียมซูริมิ

นำซูริมิแช่เยือกแข็งมาละลายน้ำแข็งโดยการเก็บรักษาที่ห้องแช่เย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาหั่นเป็นลูกเต๋าขนาด 1x1x1 เซนติเมตร

2.2.4 การผลิตลูกชิ้นปลาจากซูริมิ

ทดลองโดยแปรสูตร 2 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม และสูตรที่มีการเติม MTGase ร้อยละ 0.18 ร่วมกับเจลบุก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเนื้อปลา และแปรปริมาณสมุนไพร 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 2 หรือ 4 โดยน้ำหนักเนื้อปลา (ตารางที่ 1)

สูตรควบคุมทำโดยนำซูริมิที่หั่นเป็นลูกเต๋ามาสับผสม โดยเติมเกลือร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักเนื้อปลา และเติมน้ำแข็งโดยปรับตามปริมาณความชื้นให้ได้ปริมาณความชื้นของลูกชิ้นที่ร้อยละ 80 ใช้เวลาสับผสมทั้งหมด 2.5 นาที จากนั้นอัดใส่ไส้เซลลูโลส

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปทำให้เย็นในอ่างน้ำผสมน้ำแข็งเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่ห้องแช่เย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

ในสูตรที่มีการเติมเจลบุก MTGase และสมุนไพรผง จะเติมภายหลังจากการสับผสมด้วยเกลือจนได้มวลเหนียว โดยใช้ปริมาณบุกทดแทนปริมาณน้ำแข็งในสูตรและให้ได้ปริมาณความชื้นของลูกชิ้นที่ร้อยละ 80 เช่นเดียวกับสูตรควบคุม

ตารางที่ 1 สูตรลูกชิ้นปลาที่มีการแปรปริมาณเจลบุกและสมุนไพร

สูตร	ส่วนประกอบ
1	สูตรควบคุม
2	สูตรควบคุม + สมุนไพร ร้อยละ 2
3	สูตรควบคุม + สมุนไพร ร้อยละ 4
4	สูตรควบคุม + MTGase + เจลบุก
5	สูตรควบคุม + MTGase + เจลบุก + สมุนไพร ร้อยละ 2
6	สูตรควบคุม + MTGase + เจลบุก + สมุนไพร ร้อยละ 4

2.2.5 การวัดค่าสี

ตัดตัวอย่างให้มีความยาว 25 มิลลิเมตร นำตัวอย่างวางบนเครื่องวัดค่าสี (L* a* b*) ตามระบบ Hunter lab โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 มุมตกกระทบ 10°

2.2.6 การวัดค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength)

ตัดตัวอย่างให้มีความยาว 25 มิลลิเมตร วิเคราะห์ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง texture analyzer พร้อมหัววัด cylinder probe (P/5s) อ่านค่าแรงที่ทำให้เจลแตก และระยะทางในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แล้วคำนวนความแข็งแรงของเจลตามวิธีการของ [12]

2.2.7 การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

ตัดตัวอย่างให้มีความยาว 25 มิลลิเมตร วิเคราะห์ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง texture analyzer พร้อมหัววัด cylinder probe (P/50) รายงานค่า hardness, springiness, cohesiveness และ chewiness

2.2.8 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค

ใช้ scanning electron microscopy (SEM) ตามวิธีการของ สิริการ [13]

2.2.9 การวัดค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% expressible water)

หั่นตัวอย่างให้มีขนาด 0.5 x 1.0 x 0.5 เซนติเมตร จากนั้นวางตัวอย่างระหว่างกระดาษกรอง Whatman® No. 4 โดยวางกระดาษกรองด้านล่าง 3 ชิ้น ด้านบน 2 ชิ้น แล้วใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัม ทับเป็นเวลา 2 นาที ชั่งน้ำหนักโดยเครื่องทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

% expressible = [(น้ำหนักลูกชิ้นก่อนทับ - น้ำหนักลูกชิ้นหลังทับ) ÷ น้ำหนักลูกชิ้นก่อนทับ] x 100

2.2.10 การประเมินทางประสาทสัมผัส

นำลูกชิ้นมาลวกที่อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส หั่นเป็นชิ้นขนาด 0.5 นิ้ว เสิร์ฟให้ผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน ประเมินคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ให้คะแนนโดยวิธี 9 point hedonic scale (โดย ชอบมากที่สุด = 9, ชอบมาก = 8, ชอบปานกลาง = 7, ชอบเล็กน้อย = 6, เฉย ๆ = 5, ไม่ชอบเล็กน้อย =

4, ไม่ชอบปานกลาง = 3, ไม่ชอบมาก = 2, ไม่ชอบมากที่สุด = 1)

2.3 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน เส้นใย โปรตีน [14] และคาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ

2.4 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) โดยทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ปริมาณของสมุนไพรที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นปลา

3.1.1 ค่าสี (L* a* b*)

การเติมสมุนไพรทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 2) จากสูตรควบคุม (สูตร 1) แต่ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 2) กับสูตรควบคุม โดยพบว่าการเติมสมุนไพรทำให้ลูกชิ้นมีค่า a* ลดลง แต่มีค่า b* เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมสมุนไพรส่งผลให้ลูกชิ้นมีความเป็นสีเขียวและสีเหลืองมากขึ้น เนื่องจากผงสมุนไพรที่ใช้มีสีเขียวที่เกิดจากใบมะกรูดและตะไคร้และสีเหลืองจากข่า การเติมสมุนไพรร้อยละ 4 ทำให้ค่า a* มีแนวโน้มลดลง และ b* มีแนวโน้มมากขึ้น แต่ไม่แตกต่างจากการเติมที่ร้อยละ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าสี (L* a *b*) ของลูกชิ้นปลาที่มีการแปรปริมาณเจลบุกและสมุนไพร

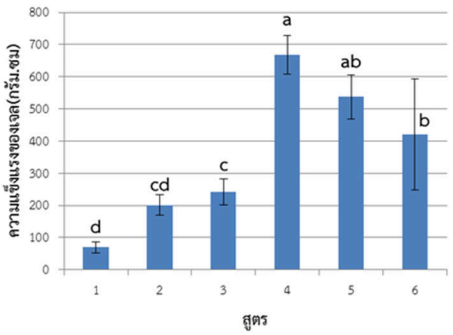
สูตร	L^{*ns}	a*	b*
1	42.42±9.96	0.21 ± 0.36^{a}	5.75 ± 0.29^{b}
2	44.04±0.30	-0.42 ± 0.03^{b}	12.30 ± 0.15^{a}
3	34.70±9.36	-0.67 ± 0.03^{b}	12.83 ± 2.25^{a}
4	42.23±10.28	0.40 ± 0.01^{a}	5.62 ± 0.27^{b}
5	44.39±0.07	-0.36 ± 0.00^{b}	12.15 ± 0.31^{a}
6	35.02±9.24	-0.74 ± 0.01^{b}	12.64 ± 1.83^{a}

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5); $^{a, b}$ ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$); ^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.1.2 ค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength)

ลูกชิ้นที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก (สูตร 4-6) มีค่าแรงที่ทำให้เจลแตก ระยะทางในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ข้อมูลไม่แสดง) และค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่าสูตรควบคุม (สูตร 1) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, รูปที่ 1) เนื่องจากเอนไซม์ MTGase ช่วยให้เกิดการเชื่อมประสานของไมโอซิน จึงส่งผลให้โครงสร้างของโปรตีนแข็งแรงขึ้น [15] ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yongsawatdigul และ Piyadhammaviboon [16] ในการปรับปรุงสมบัติของเจลซูริมิจากปลาปากคม (*Saurida spp.*) โดยใช้ MTGase 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.09, 0.18, 0.27 หรือ 0.36 โดยน้ำหนักเนื้อปลา พบว่าการเติม MTGase ทำให้เจลซูริมิมีค่าความแข็งแรงของเจลมาก

กว่าสูตรควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม MTGase ร้อยละ 0.18 ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุดและมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 1 ความแข็งแรงของเจลของลูกชิ้นปลาที่มีการแปรปริมาณเจลบุกและสมุนไพร [บาร์แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)]

การเติมผงสมุนไพรในปริมาณที่มากขึ้นในสูตรควบคุมทำให้ค่าแรงที่ทำให้เจลแตก ระยะทางในการเปลี่ยน แปลงรูปร่าง (ข้อมูลไม่แสดง) และค่าความแข็งแรงของเจลมีแนวโน้มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสมุนไพรที่เติมลงไปมีลักษณะเป็นผงแห้ง มีสมบัติในการดูดน้ำแล้วพองตัวในโครงสร้างของลูกชิ้น จึงทำให้โครงสร้างเจลแน่นขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสมุนไพรในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ลูกชิ้นสูตรที่มีการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุกมีแนวโน้มของค่าความแข็งแรงของเจลลดลง (รูปที่ 1) เนื่องจากการเติมสมุนไพรในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการรบกวนการเกิดโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนที่เป็นระเบียบซึ่งเกิดการเชื่อมประสานกันด้วย MTGase ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเจลลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cardoso และคณะ [17] ที่ได้ศึกษาผลของการเติมเส้นใยอาหาร ได้แก่ อินนูลินจากหัวชิคอรี (chicory) ที่ร้อยละ 2 และ 4 ร่วมกับการเติม MTGase ร้อยละ 0.5 ในเจลซูริมิจากปลาแมกเคอเรล พบว่าการเติมอินนูลินจากหัวชิคอรีที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าแรงที่ทำให้เจลแตก และค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรที่เติม MTGase เพียงอย่างเดียว และมีค่าระยะทางในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.1.3 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA)

ลูกชิ้นที่มีการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก (สูตร 4-6) มีแนวโน้มของค่า hardness และ chewiness มากกว่าสูตรควบคุม (สูตร 1) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 3) เนื่องจากการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก ส่งผลให้โครงสร้างของโปรตีนแข็งแรงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cardoso และคณะ [17] พบว่าการเติม MTGase ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา ทำให้เจลซูริมิจากปลาแมกเคอเรล มีค่า hardness, springiness, cohesiveness และ chewiness มากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

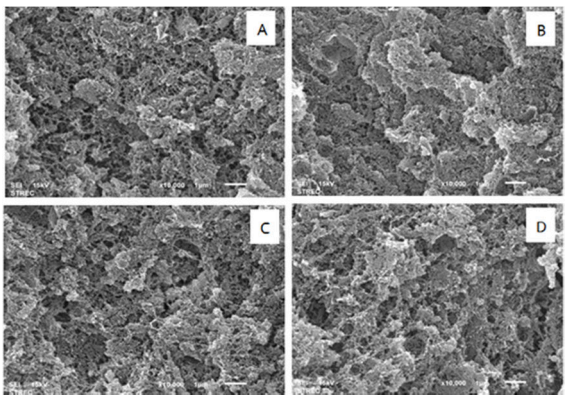
การเติมสมุนไพรในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทั้งในสูตรควบคุม และสูตรที่มีการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก ทำให้ค่า hardness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสมุนไพรที่เติมลงไป มีลักษณะเป็นผงแห้ง มีสมบัติในการดูดน้ำแล้วเกิดการพองตัวในโครงสร้าง ทำให้ลูกชิ้นมีความแน่นขึ้น และสอดคล้องกับค่า chewiness ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสมุนไพรในปริมาณที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าสมุนไพรที่เติมลงไปส่งผลต่อพลังงานในการเคี้ยว เนื่องจากสมุนไพรมีลักษณะเป็นเส้นใย นอกจากนี้การเติมสมุนไพรร้อยละ 4 ทำให้ค่า springiness และ cohesiveness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 3) การที่

ลูกชิ้นมีความสามารถในการคืนตัวหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก และมีพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหารน้อยลงเมื่อมีการเติมสมุนไพรร้อยละ 4 เนื่องจากสมุนไพรที่เติมลงไปมีหน้าที่เป็นเพียงสารเติมเต็ม (filler) ในโครงสร้างของโปรตีนเท่านั้น ไม่ได้ช่วยในการเกิดโครงสร้างตาข่ายของโปรตีน และการเติมสมุนไพรร้อยละ 4 เป็นปริมาณที่มากเกินไป สมุนไพรมีลักษณะเป็นเส้นใยจึงอาจเข้าไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างตาข่ายที่เป็นระเบียบของโปรตีน ทำให้ลูกชิ้นมีลักษณะที่ร่วน แต่การเติมสมุนไพรร้อยละ 2 ทำให้ค่า springiness และ cohesiveness ไม่แตกต่างจากสูตรที่มีการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก ($p > 0.05$, ตารางที่ 4) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cardoso และคณะ [17] ที่เติมอินนูลินจากหัวชิคอรีร้อยละ 2 และ 4 ร่วมกับการเติม MTGase ร้อยละ 0.5 ในเจลซูริมิจากปลาแมกเคอเรล พบว่าการเติมอินนูลินจากหัวชิคอรีในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า hardness มีแนวโน้มมากขึ้น และทำให้ค่า springiness และ cohesiveness มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่เติม MTGase เพียงอย่างเดียว และงานวิจัยของ Debusca และคณะ [18] ที่รายงานว่าการเติมเซลลูโลสชนิดผงร้อยละ 0.06 ในซูริมิจากปลาอลาสก้า-พอลล็อค ทำให้เจลซูริมิมีค่า hardness และ chewiness เพิ่มขึ้น และค่า springiness และ cohesiveness ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

ตารางที่ 3 ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่มีการแปรปริมาณเจลบุกและสมุนไพร

สูตร	Hardness (g)	Springiness	Cohesiveness	Chewiness (g)
1	1613.20 ± 683.15^{c}	0.91 ± 0.01^{b}	0.74 ± 0.01^{b}	1069.20 ± 429.55^{c}
2	1934.90 ± 336.00^{bc}	0.89 ± 0.00^{c}	0.73 ± 0.01^{b}	1248.20 ± 225.53^{bc}
3	2510.80 ± 96.63^{ab}	0.85 ± 0.01^{d}	0.63 ± 0.06^{c}	1342.30 ± 105.97^{abc}
4	2290.80 ± 848.86^{abc}	0.97 ± 0.01^{a}	0.87 ± 0.00^{a}	1922.00 ± 710.09^{ab}
5	2504.40 ± 557.14^{ab}	0.95 ± 0.00^{a}	0.84 ± 0.01^{a}	1981.70 ± 460.3^{ab} 1
6	2993.40 ± 297.09^{a}	0.91 ± 0.01^{b}	0.76 ± 0.01^{b}	2047.80 ± 165.46^{a}

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5); $^{a, b, c \ldots}$ ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



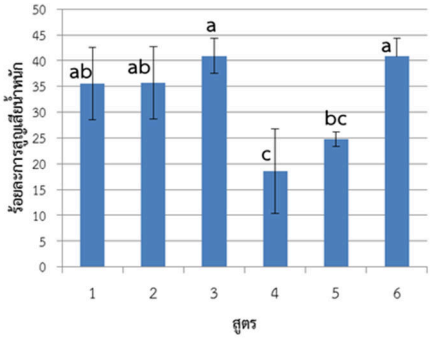
รูปที่ 2 โครงสร้างระดับจุลภาคของลูกชิ้นปลา (กำลังขยาย 10,000 เท่า) (A คือ สูตรควบคุม, B คือ สูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก, C คือ สูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุกและสมุนไพรร้อยละ 2 และ D คือ สูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุกและสมุนไพรร้อยละ 4

3.1.4 โครงสร้างระดับจุลภาค

โครงสร้างระดับจุลภาคของลูกชิ้นปลาดังรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า รูป 2A ซึ่งเป็นสูตรควบคุม (สูตร 1) มีโครงสร้างภายในเจลของลูกชิ้นที่มีลักษณะหยาบ และมีช่องว่างขนาดใหญ่ ส่วนสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก (สูตร 4) (รูป 2B) มีโครงสร้างเจลที่มีความละเอียดมากขึ้น และมีช่องว่างขนาดเล็กลง เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 2A นอกจากนี้ยังพบว่าบางบริเวณมีโครงสร้างคล้ายร่างแห ซึ่งอาจเกิดจากการเชื่อมประสานของโปรตีนไมโอซินโดยมี MTGase เป็นตัวเร่ง ทำให้เกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ชนิด **ε**-(γ-glutamyl) lysine จึงช่วยปรับปรุงการจัดเรียงตัวของโปรตีน ทำให้โครงสร้างเจลมีความละเอียด ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเจลมากขึ้น จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก และสมุนไพรร้อยละ 2 (สูตร 5) หรือ 4 (สูตร 6) ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมสมุนไพรในปริมาณมากขึ้น และมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่าสูตรควบคุม (สูตร 1) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, รูปที่ 1) เมื่อพิจารณาโครงสร้างระดับจุลภาพของลูกชิ้นปลาสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก และสมุนไพรร้อยละ 2 (สูตร 5) หรือ 4 (สูตร 6) พบว่าการเติมสมุนไพรร้อยละ 2 หรือ 4 (รูป 2C และ 2D ตามลำดับ) มีช่องว่างขนาดใหญ่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรูป 2B (สูตร 4) เนื่องจากสมุนไพรขัดขวางการเกิดโครงสร้างของเจลโปรตีน จึงทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่า แต่จะเห็นได้ว่าช่องว่างที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกว่าสูตรควบคุม (สูตร 1) (รูป 2A)

3.1.5 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% expressible water)

ลูกชิ้นที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุกมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, รูปที่ 3) รวมถึงพบว่าการเติม MTGase ทำให้โครงสร้างของโปรตีนแข็งแรงขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการเชื่อมประสานของโปรตีนไมโอซินโดยมี MTGase เป็นตัวเร่ง จึงเกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ชนิด **ε**-(γ-glutamyl) lysine ส่งผลให้โครงสร้างโปรตีนสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของเจลของลูกชิ้นที่มีการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุกที่มากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, รูปที่ 1)



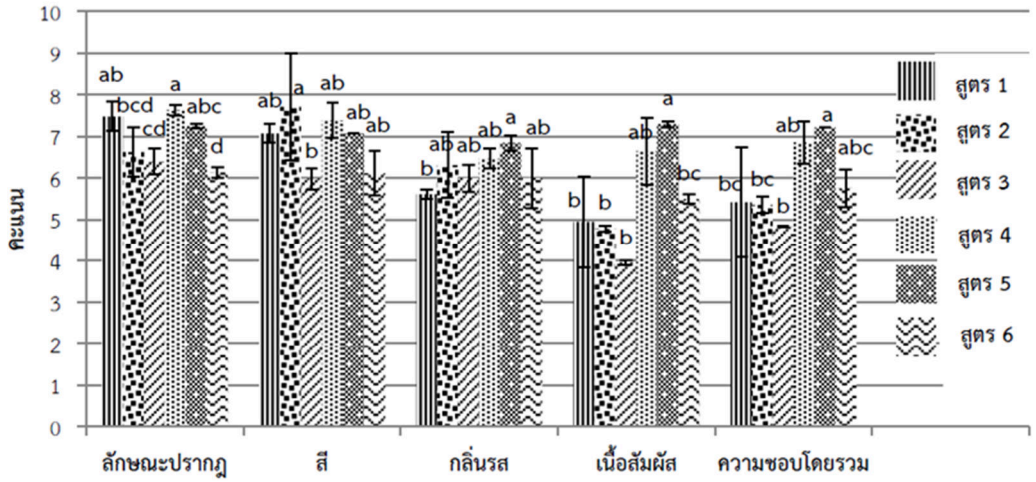
รูปที่ 3 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของลูกชิ้นปลาที่มีการแปรปริมาณเจลบุกและสมุนไพร [บาร์แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 5) ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)]

การเติมสมุนไพรในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มมากขึ้นทั้งในสูตรควบคุม (สูตร 1) และสูตรที่มีการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก (สูตร 4) ทั้งนี้เนื่องจากสมุนไพรที่เติมลงไปมีลักษณะเป็นผงแห้ง มีสมบัติในการดูดน้ำแล้วพองตัวในโครงสร้าง แต่ไม่มีสมบัติในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้าง เมื่อวัดค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักโดยการใช้ตุ้มน้ำหนักกด จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยน้ำออกจากโครงสร้างของลูกชิ้น

3.1.6 การประเมินทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดัง

รูปที่ 4 พบว่าการเติมสมุนไพรในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ และสีของลูกชิ้นมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผงสมุนไพรมีสีเขียวอมเหลือง เมื่อเติมลงในลูกชิ้นทำให้ลูกชิ้นมีความเป็นสีเขียวและสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งต่างจากลูกชิ้นปลาสูตรควบคุมที่มีสีขาวเช่นเดียวกับลูกชิ้นปลาที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งเป็นสีที่ผู้บริโภคคุ้นเคยและให้การยอมรับ การเติมสมุนไพรในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนประเมินทางด้านกลิ่นรสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด มีชนิดและปริมาณน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกัน จึงช่วยปรับปรุงกลิ่นรสของลูกชิ้นได้ เช่น อาจช่วยดับกลิ่นคาวของเนื้อปลา แต่การเติมสมุนไพรในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ เนื่องจากลูกชิ้นมีกลิ่นของสมุนไพรที่แรงเกินไป จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมสมุนไพรร้อยละ 4 ได้รับคะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสน้อยกว่าการเติมสมุนไพรร้อยละ 2 แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, รูปที่ 3) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสมุนไพรร้อยละ 4 ทำให้คะแนนด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเติมสมุนไพรร้อยละ 4 ทำให้ลูกชิ้นมีแนวโน้มของค่า hardness และ chewiness เพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มของค่า springiness และ cohesiveness ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีการเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก (สูตร 4) (ตารางที่ 3) ส่งผลให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงทำให้ได้รับคะแนนลดลง แต่จะเห็นได้ว่าสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุกและสมุนไพรร้อยละ 2 ได้รับคะแนนประเมินด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุกและสมุนไพรร้อยละ 2 ไปใช้ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม



รูปที่ 4 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่มีการแปรปริมาณเจลบุกและสมุนไพร [บาร์แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 30) ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)]

3.2 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

ลูกชิ้นสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุกและสมุนไพรร้อยละ 2 มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม

อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$, ตารางที่ 4) แต่มีปริมาณเถ้า และเส้นใยมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$, ตารางที่ 4) เนื่องจากสมุนไพรที่เติมลงไปเป็นเส้นใย จึงทำให้ปริมาณเถ้า และเส้นใยของลูกชิ้นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของลูกชิ้นปลาสูตรควบคุมและสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุกร้อยละ 3 และสมุนไพรร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเนื้อปลา

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักสด)	
	สูตรควบคุม	สูตรเติม MTGase ร่วมกับเจลบุกร้อยละ 3 และสมุนไพรร้อยละ 2
ความชื้น^{ns}	80.38±0.94	78.85±0.57
โปรตีน^{ns}	15.40±0.37	16.75±0.56
ไขมัน^{ns}	0.06±0.02	0.09±0.01
เถ้า	1.77±0.04^{b}	1.92±0.04 ^{a}
เส้นใย	ND	0.21±0.01
คาร์โบไฮเดรต^{ns}	2.41±1.34	2.41±0.06

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$); ND = ตรวจไม่พบ; $^{a, b}$ ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$); ^{ns} ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

4. สรุป

4.1 การเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก ทำให้ลูกชิ้นจากซูริมิปลาฤาษีมีค่าความแข็งแรงของเจล hardness, springiness, cohesiveness และ chewiness มากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบโครงสร้างระดับจุลภาคของเจลที่ละเอียดมากขึ้น มีช่องว่างขนาดเล็กลง และบางบริเวณยังพบโครงสร้างคล้ายร่างแห

4.2 เมื่อเติมสมุนไพรในปริมาณเพิ่มขึ้นในสูตรควบคุม (สูตร 1) ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจล ค่า hardness, chewiness และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก พบว่าเมื่อเติมสมุนไพรในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลลดลง ส่วนค่า hardness, chewiness และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุกและสมุนไพรร้อยละ 2 (สูตร 5) มีค่าความแข็งแรงของเจล ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสทุกค่า และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างจากสูตรที่เติม MTGase ร่วมกับเจลบุก (สูตร 4) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รวมถึงมีค่าความแข็งแรงของเจล และค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสทุกค่ามากกว่าสูตรควบคุม (สูตร 1) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสูตรควบคุม โดยพบว่ามีโครงสร้างระดับจุลภาคที่อัดตัวกันแน่น และมีช่องว่างภายในโครงสร้างตาข่ายโปรตีนมีขนาดเล็กลง เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (สูตร 1) นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าสูตร

ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3 การเติม MTGase ร่วมกับเจลบุก และสมุนไพรร้อยละ 2 ทำให้ลูกชิ้นมีปริมาณเถ้า และเส้นใยมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่จัดสรรงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2559 ในการสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ บริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด ในความอนุเคราะห์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

6. รายการอ้างอิง

[1] จักรี ทองเรือง, 2544, ซูริมิ (Surimi), สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 338 น.

[2] Park, J.W., 1994, Functional protein additives in surimi gels, J. Food Sci. 59: 525-527.

[3] Zhang, T., Xue, Y., Li, Z., Wang, Y. and Xue, C., 2015, Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska Pollock surimi gels subjected to high-temperature (120 °C) treatment, Food Hydrocoll. 43: 125-131.

[4] Yokoyama, K., Nio, N. and Kikuchi, Y., 2004, Properties and applications of microbial transglutaminase, Appl. Microbiol. Biotechnol. 64: 447-454.

[5] Tye, R.J., 1991, Konjac flour: Properties and applications, Food Technol. 45(3): 82-92.

[6] Zhang, H., Yoshimura, M., Nishinari, K., Williams, M.A.K., Foster, T.J. and Norton, I.T., 2001, Gelation behaviour of konjac glucomannan with different molecular weights, Biopolymers 59: 38-50.

[7] Fujiwara, S., Hirota, T., Nakazato, H., Muzutani, T. and Mitsuoka, T., 1991, Effect of konjac mannan on intestinal microbial metabolism in mice bearing human flora and in conventional F344 rats, Food Chem. Toxicol. 29: 601-606.

[8] Levrat-Verny, M.A., Behr, S., Mustad, V., Rémésy, C. and Demigné, C., 2000, Low levels of viscous hydrocolloids lower plasma cholesterol in rats primarily by impairing cholesterol absorption, J. Nutr. 130: 243-248.

[9] Lu, X.J., Chen, X,M., Fu, D.X., Cong, W. and Ouyang, F., 2002, Effect of *Amorpho-phallus* konjac oligosaccharides on STZ-induced diabetes model of isolated islets, Life Sci. 72: 711-719.

[10] นพัต จันทรวิสูตร และเจษฎา เด่นดวงบริพันธ์, 2547, การยับยั้งการเจริญของเชื้อราจากข่าที่ผสมในเค้ก, ว.วิจัยวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 1: 19-34.

[11] ศิริลดา ไกรลมสม, 2558, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกันแซนแทนกัม, ว.เกษตร 1: 77-87.

[12] ภัทิรา สุดเลิศ และวรางคณา สมพงษ์, 2557, การใช้สารสกัดจากสาหร่ายโพรงในผลิตภัณฑ์เจลลูกชิ้นปลา, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 22(1): 67-78.

[13] สิริการ หนูสิงห์, 2557, สมบัติทางเคมีกายภาพของกัมจากเมล็ดมะขามและการใช้ปรับปรุงเนื้อ

สัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, 107 น.

[14] AOAC, 2005, Official method of analysis, 16th Ed., Association of Official Chemists, Washington, D.C.

[15] สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2549, ซูริมิ : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาบด, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 327 น.

[16] Yongsawatdigul, J. and Piyadhamma-viboon, P., 2005, Effect of microbial transglutaminase on autolysis and gelation of lizardfish surimi, J. Sci. Food Agric. 85: 1453-1460.

[17] Cardoso, C., Mendes, R., Vaz-Pires, P. and Nunes, M.L., 2009, Effect of dietary fibre and MTGase on the quality of mackerel surimi gels, J. Sci. Food Agric. 89: 1648-1658.

[18] Debusca, A., Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Partington, S. and Jaczynski, J., 2013, Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute, Food Chem. 141: 201-208.