ผลของแคลเซียมคลอไรด์และไข่ขาวผงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องจากเนื้อปลาลัง (*Rastrelliger kanagurta*)

Effect of Calcium Chloride and Egg White Powder on Quality of Marinated Ground-Fish from Indian Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*)

นิสานารถ กระแสร์ชล* นฤมล บำรุงศาสตร์ และ วัชราภรณ์ เทศศิริ

Nisanarth Krasaechol*, Narumol Bumrungsat and Watcharaporn Thessiri

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University

Received : 8 June 2017

Accepted : 15 November 2017

Published online : 1 December 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และไข่ขาวผง (egg white powder, EWP) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องจากเนื้อปลาลัง (Indian mackerel marinated ground-fish, IMF) โดยในตอนแรกแปรปริมาณ $CaCl_2$ เป็น 0.0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8% ของน้ำหนักเนื้อปลา พบว่าปริมาณ $CaCl_2$ ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase ค่าสี L* a* b* ค่าความขาว (W) และค่าลักษณะเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่า pH และค่าปริมาณของเหลวบีบอัดลดลง โดย IMF ที่มีการเติม $CaCl_2$ 0.4% ของน้ำหนักเนื้อปลา มีผลทำให้เจลโปรตีนปลามีความแข็งแรงสูงสุด และจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมได้รับคะแนนสูงสุดโดยอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก (8.03 $\pm$ 0.89 คะแนน) ในตอนที่สองจึงนำ IMF ที่มีการเติม $CaCl_2$ 0.4% ของน้ำหนักเนื้อปลา ไปศึกษาร่วมกับปริมาณ EWP ที่ระดับ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5% ของน้ำหนักเนื้อปลา พบว่าปริมาณ EWP ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าระดับกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอส ค่า pH และค่าปริมาณของเหลวบีบอัดลดลง แต่ทำให้ค่าสี L* a* b* และลักษณะเนื้อสัมผัสมีค่าสูงขึ้น โดย IMF ที่มี $CaCl_2$ 0.4% ร่วมกับ EWP 3% ของน้ำหนักเนื้อปลา มีความแข็งแรงของเจลสูงสุดและมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดโดยอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง (7.17 $\pm$ 1.51 คะแนน)

คำสำคัญ : ปลาลัง ปลาทูโม่ง แคลเซียมคลอไรด์ ไข่ขาวผง ผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

*Corresponding author. E-mail : nisanart@buu.ac.th

Abstract

Effect of calcium chloride ($CaCl_2$) and egg white powder (EWP) on quality of marinated ground-fish from Indian mackerel (IMF) was studied. Firstly, $CaCl_2$ at concentrations of 0.0, 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8% (w/w fish) were added. It was found that with increasing the amount of $CaCl_2$, the activity of Ca^{2+}-ATPase, L*, a*, b*, whiteness and textural properties, were increased whereas pH and expressible moisture content were decreased. The IMF with 0.4% $CaCl_2$ obtained the highest gel strength with the highest overall liking score (8.03 ± 0.89). Secondly, the effect of EWP (0, 1, 2, 3, 4 and 5% (w/w fish)) addition with 0.4% $CaCl_2$was investigated. It was found that, when amount of EWP increased the activity of protease, pH and expressible moisture content were decreased. While L*, a*, b*, and textural properties, were increased. In addition, adding 3% EWP with 0.4% $CaCl_2$ rendered the IMF with the highest gel strength, as well as the highest overall liking score at moderately level (7.17 ± 1.51).

Keywords : Indian mackerel, calcium chloride, egg white powder, marinated ground-fish

บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดแปรรูปได้รับความนิยมมากขึ้นทำให้อุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำขยายตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้ประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดและผลิตภัณฑ์ซูริมิ จึงได้มีการใช้ประโยชน์ปลาในกลุ่มที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์หรือใช้ประโยชน์ได้น้อย ปัจจัยสำคัญที่กำหนดศักยภาพของการใช้ประโยชน์ปลาคือ องค์ประกอบทางเคมีของปลาโดยเฉพาะโปรตีนซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบด ปลาลังหรือปลาทูโม่ง (Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta*) เป็นหนึ่งในพันธุ์ปลาทะเลที่จับได้จำนวนมากในบริเวณชายฝั่งของจังหวัดชลบุรี ซึ่งปลาทะเลพันธุ์เล็กนี้มีข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ของปลาต่อกระบวนการผลิตอยู่มากเนื่องจากปลาลังเป็นปลาขนาดเล็ก มีกลิ่นคาวและองค์ประกอบทางเคมีจะมีความผันแปรตามฤดูกาลสูง สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสได้ง่ายเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปและข้อจำกัดที่สำคัญสำหรับการใช้ประโยชน์จากปลากลุ่มนี้คือ ภายหลังการตายมีการสูญเสียสภาพธรรมชาติของแอคโทไมโอซินอย่างรวดเร็วและมีปริมาณของกล้ามเนื้อดำและมีไขมันสูง การที่กล้ามเนื้อปลามีสีดำซึ่งอยู่บริเวณด้านข้างของลำตัวเป็นผลมาจากปลาในกลุ่มนี้อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำจึงมีกิจกรรมสูง ซึ่งกล้ามเนื้อดำนี้อุดมไปด้วยเม็ดเลือด สารประกอบและเอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อมีผลต่อการว่ายน้ำได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ในกล้ามเนื้อดำของปลายังประกอบด้วยเอนไซม์โปรตีเอสชนิดทนร้อนปริมาณสูงซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาย่อยสลายโปรตีนในตัวปลาทำให้กลิ่นและคุณภาพของปลาต่ำลง ข้อจำกัดดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงหน้าที่ในการเกิดเจลที่ลดลง (Chaijan, Panpipat, & Benjakul, 2010) ความเข้าใจต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่เกิดขึ้นในระหว่างการแปรรูปจึงมีความสำคัญต่อการสร้างลักษณะและการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่เป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบด เป็นผลให้นำไปสู่การกำหนดวิธีปฏิบัติในกระบวนการแปรรูปและการใช้สารเติมแต่งอาหารเพื่อดัดแปลงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการเกิดเจล ซึ่งเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญมากของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อปลาบดทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏเป็นที่ดึงดูดใจ และเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมสารเติมแต่งที่มีผลเสริมอันตรกิริยาของโปรตีน ได้แก่ การเติม

เกลือแคลเซียม (Chajeamjen, *et al*., 2012) และสารเติมแต่งที่เพิ่มความแข็งแรงของเจล เช่น ไข่ขาวผง (Chumreang, Sangjindavong, & Pluksawanich, 1999) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะนำปลาลังซึ่งเป็นปลาทะเลพันธุ์เล็กที่จับได้จำนวนมากในบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรีซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์ต่ำในอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำมาเพิ่มแนวทางการนำไปใช้โดยนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องเพื่อเพิ่มมูลค่า และผลงานวิจัยนี้ที่ศึกษาการใช้ $CaCl_2$ และไข่ขาวผงสามารถนำไปต่อยอดในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ปลาสวรรค์หรือลูกชิ้นปลาได้ โดยศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับไข่ขาวผงที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องจากเนื้อปลาลัง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

การเตรียมเนื้อปลาลัง นำปลาลังสดซื้อจากสะพานปลาอ่างศิลา อ.เมือง จ.ชลบุรี ขนส่งใช้เวลาไม่เกิน 30 นาที โดยเก็บในกล่องเก็บรักษาความเย็นที่มีน้ำแข็งเกล็ดกลบทับบนตัวปลา นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิ 4°C ตัดหัว ควักไส้ แยกเอาเนื้อปลาออกจากก้างและหนังปลาด้วยมีดโดยขณะแล่ตัวปลาจะวางอยู่บนน้ำแข็ง แล้วนำเนื้อปลาบรรจุใส่ถุง polyethylene และถุงนี้จะถูกกลบด้วยน้ำแข็งในกล่องรักษาความเย็นตลอดเวลาก่อนนำไปใช้

2. การผลิตปลาทรงเครื่อง

นำเนื้อปลาลังมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องโดยมีส่วนผสมตามสูตร (เนื้อปลาลัง 400 กรัม น้ำตาล 8 กรัม เกลือ 10 กรัม พริกไทยป่น 4 กรัม) โดยนำเนื้อปลาลังมาสับนวดร่วมกับเกลือด้วยเครื่องสับนวด (Moulinex รุ่น DFB 3, TH) ด้วยความเร็วรอบต่ำ นาน 1 นาที ควบคุมอุณหภูมิของเนื้อปลาที่ผ่านการสับนวดโดยนำโถสับนวดไปแช่ในน้ำแข็งจนมีอุณหภูมิ 4 $\pm$ 1°C หลังจากนั้นใส่ส่วนผสมที่เหลือแล้วสับนวดต่อด้วยความเร็วรอบสูงสุดอีก 1 นาที นำไปขึ้นรูปในพิมพ์สแตนเลสที่มีขนาด 5x10x0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำหนักชิ้นละ 15 $\pm$ 1 กรัม แล้วนำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40 $\pm$ 1°C นาน 30 นาที ตามด้วยอุณหภูมิ 90 $\pm$ 1°C นาน 20 นาที (Chaijan, Panpipat & Benjakul, 2010) ทำให้เย็นทันทีในน้ำเย็น 0°C แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยนำไปให้ความร้อนในน้ำเดือดนาน 2 นาที ทิ้งให้เย็นไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

2.1 ศึกษาผลของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ศึกษาผลของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง โดยแปรปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) 0.0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 % (น้ำหนักเนื้อปลา) ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องตามวิธีข้างต้น โดยการเติม $CaCl_2$ ทำในขั้นตอนหลังจากสับผสมเนื้อปลาลังกับเกลือ พักไว้จนส่วนผสมมีอุณหภูมิ 4 $\pm$ 1°C โดยการนำโถสับนวดไปแช่ในน้ำแข็งแล้วจึงเติมส่วนผสมที่เหลือและ $CaCl_2$ ซึ่งหลังการสับนวดเสร็จก่อนการให้ความร้อนตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase และค่า pH และนำส่วนที่เหลือทั้งหมดไปขึ้นรูปและให้ความร้อนแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ ค่าสีและค่าปริมาณของเหลวบีบอัด ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น การเกาะติด ความเหนียว และความแข็งแรงของเจล และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส คัดเลือกผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องที่มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดร่วมกับมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งแรงของเจลที่ดีเพื่อนำไปทดลองในข้อ 2.2 ต่อไป

2.2 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับปริมาณไข่ขาวผงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ศึกษาผลของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ 0.4% ร่วมกับการแปรปริมาณไข่ขาวผง (egg white powder, EWP) 0, 1, 2, 3, 4 และ 5% ของน้ำหนักเนื้อปลา ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องตามวิธีข้างต้น โดยการเติม EWP ทำในขั้นตอนหลังจากสับผสมเนื้อปลาลังกับเกลือ พักไว้จนส่วนผสมมีอุณหภูมิ 4 $\pm$ 1°C โดยการนำโถสับนวดไปแช่ในน้ำแข็งแล้วจึงเติมส่วนผสมที่เหลือและ EWP ซึ่งหลังการสับนวดเสร็จก่อนการให้ความร้อนตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอส และนำส่วนที่เหลือทั้งหมดไปขึ้นรูปและให้ความร้อนแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ ค่าสี ค่าปริมาณของเหลวบีบอัด ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น การเกาะติด ความเหนียว และความแข็งแรงของเจล และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

3. การวิเคราะห์คุณภาพ

3.1 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase ในแอคโทไมโอซินจากเนื้อปลาลัง (ก่อนการให้ความร้อน) ตามวิธีของ Benjakul, *et al*. (1997)

3.2 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอสที่สกัดจากเนื้อปลาลัง (ก่อนการให้ความร้อน) ตามวิธีของ Seymour, *et al*. (1994) โดยรายงานเป็นกิจกรรมของเอนไซม์จำเพาะหนึ่งหน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีนโดยวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Modified Lowry's method (Peterson, 1977)

3.3 การวิเคราะห์ค่า pH ของเนื้อปลาลังตามวิธีของ Benjakul, *et al*. (1997)

3.4 การวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Hunter lab รุ่น Mini Scan XP Plus, USA) และคำนวณค่าความขาว (whiteness; W) ตามวิธีของ Park (1994)

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

3.5 การวิเคราะห์ค่าปริมาณของเหลวบีบอัด (expressible moisture content, %) โดยวิธีของ Chanarat & Benjakul (2013) ดัดแปลงโดยตัดผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 2.5 x 2.5 x 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.6 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Stable Micro Systems รุ่น TA.XT plus, UK) ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) การเกาะติด (cohesiveness) ความเหนียว (gumminess) ใช้หัววัด Cylinder aluminum probe (P/35) ความเร็ว 5.0 mm/s และความแข็งแรงของเจล (gel strength) ใช้หัววัด Hemispherical probe (P/0.5HS) ความเร็ว 0.5 mm/s (Chaijan, Panpipat, & Benjakul, 2010)

3.7 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความชุ่มฉ่ำ ความแน่นเนื้อ ความเหนียว และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase กิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอส ค่า pH ค่าสี ค่าปริมาณของเหลวบีบอัด ลักษณะเนื้อสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) โดยจัดให้ผู้ทดสอบเป็นบล็อก (block) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้

โปรแกรม SPSS 23.0 (SPSS Inc., Illinois, USA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase และค่า pH (ตารางที่ 1) ระดับของกิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ $CaCl_2$ ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.0 ถึง 0.4% ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณ $CaCl_2$ 0.4% มีระดับกิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase สูงสุด คือ 0.043 μmolePi/mg protein/min เนื่องจากแคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) มีผลกระตุ้นให้เอนไซม์ ATPase ที่บริเวณส่วนหัวของโมเลกุลไมโอซินเข้าทำปฏิกิริยากับ ATP ได้เป็น ADP และ Pi และในขณะเดียวกันเมื่อ Ca^{2+} หลั่งเข้าไปในเซลล์กล้ามเนื้อจะเข้าจับกับ Troponin C ทำให้ตำแหน่งของ myosin binding-site บนเส้นใยแอคตินเปิดออกเป็นผลให้เกิดการสร้าง cross-bridge ระหว่างโมเลกุลแอคตินกับไมโอซินเกิดเป็นแอคโทไมโอซินแล้วจะปลดปล่อย Pi ออกมาซึ่งปริมาณ Pi แสดงถึงระดับกิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase (Foegeding, Lanier, & Hultin, 1996) เมื่อเพิ่มปริมาณ $CaCl_2$ เป็น 0.6 และ 0.8% ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase ลดลง เนื่องจากการมี Ca^{2+} ที่สูงเกินจะไปขัดขวางการเข้าจับระหว่าง Ca^{2+}กับ Troponin C มีผลทำให้ตำแหน่งของ myosin binding-site บนเส้นใยแอคตินที่เคยมี Tropomyosin บังไว้ถูกเปิดออกเพียงเล็กน้อยทำให้การเข้าจับระหว่างโมเลกุลแอคตินกับไมโอซินเกิดขึ้นได้น้อยลงเป็นผลให้เกิดการสร้าง cross-bridge ระหว่างโมเลกุลแอคตินกับไมโอซินเกิดเป็นแอคโทไมโอซินได้น้อยลง ทั้งนี้ยังพบว่าค่า pH มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ $CaCl_2$ที่เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยการเติม $CaCl_2$ 0.8% ทำให้มีค่า pH ต่ำสุด คือ 6.45 การเพิ่มปริมาณ $CaCl_2$ มีผลให้ค่า pH ของเนื้อปลาลดลง เนื่องจากการมี Ca^{2+} ส่งผลให้มีการสลายไกลโคเจนแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อให้ได้พลังงานในรูป ATP ที่จะนำไปใช้ในการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase สูงขึ้นเป็นผลให้ในกล้ามเนื้อปลามีกรดแลคติกเกิดขึ้นสูง (Benjakul, 2005) จึงทำให้ค่า pH ของเนื้อปลาลดลง

ตารางที่ 1 ปริมาณ $CaCl_2$ ต่อ กิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase และค่า pH ของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ปริมาณ $CaCl_2$ (%)	กิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase (μmolePi/mg protein/min)	pH
0.0	0.022 ± 0.006^{c}	6.82 ± 0.05^{a}
0.2	0.036 ± 0.002^{b}	6.76 ± 0.02^{b}
0.4	0.043 ± 0.011^{a}	6.62 ± 0.03^{c}
0.6	0.018 ± 0.007^{cd}	6.50 ± 0.01^{d}
0.8	0.017 ± 0.001^{d}	6.45 ± 0.04^{d}

$^{a, b, \ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าสี (ตารางที่ 2) พบว่า ค่า L* a* b* และ W ของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ $CaCl_2$ ที่เพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) ทั้งนี้ปลาลังเป็นปลาที่มีกล้ามเนื้อดำอยู่สูงซึ่งกล้ามเนื้อดำเป็นกล้ามเนื้อที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการชีวเคมีเนื่องจากในกล้ามเนื้อดำประกอบด้วยไขมัน กรดไขมัน ไมโอโกลบินและเอนไซม์ในปริมาณสูงซึ่งในปลาแต่ละชนิดจะมีปริมาณกล้ามเนื้อดำแตกต่างกัน (Thongrueng, 2001) ซึ่งไมโอโกลบินนี้เป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงจึงทำให้เนื้อมีสีไม่ขาวมากนัก โดยการเติม $CaCl_2$ 0.8% มีค่า L* และค่า W สูงสุด ซึ่งค่า W ได้มาจากการคำนวณด้วยค่า L* a* และ b* ตามวิธีของ Park (1994) เมื่อค่าสีเหล่านี้สูงขึ้นจึงทำให้ค่า W สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ Ca^{2+} สามารถเร่งกิจกรรมของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่มีในกล้ามเนื้อปลามีผลให้เกิดการเกาะตัวกันของโมเลกุลแอคโทไมโอซินเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเจลจึงสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ในปริมาณสูงซึ่งปริมาณน้ำที่ถูกกักไว้ในปริมาณสูงนี้จะทำให้เกิดการกระจายของแสงในน้ำมาก (Benjakul, 2006) ส่งผลให้เจลมีค่า L* และค่า W สูง และแคลเซียมอิออนยังทำให้เม็ดสีในกล้ามเนื้อสัตว์มีสีจางลงหรือมีส่วนช่วยให้มีความขาวขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chajeamjen, *et al*. (2012) ที่พบว่าเจลซูริมิปลาลิ่นที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเสริมปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความขาวของซูริมิเพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนี้พบว่าค่าปริมาณของเหลวบีบอัดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ $CaCl_2$ ที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณ 0.0, 0.2 และ 0.4% แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยการเติม $CaCl_2$ 0.4% มีค่าปริมาณของเหลวบีบอัดต่ำสุด คือ 7.25% เนื่องจากการมี Ca^{2+} ส่งเสริมการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของไมโอซินและแอคตินเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เกิดเป็นโปรตีนแอคโทไมโอซินที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อให้ความร้อนแก่เจลที่อุณหภูมิสูง (90°C) มีผลให้โครงสร้างตาข่ายจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบจึงทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงและสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ปริมาณสูงส่งผลให้เจลมีค่าปริมาณของเหลวบีบอัดต่ำ เมื่อเพิ่มปริมาณ $CaCl_2$ เป็น 0.6 และ 0.8% มีแนวโน้มให้ค่าปริมาณของเหลวบีบอัดสูงกว่าเมื่อใช้ $CaCl_2$ ปริมาณ 0.0, 0.2 และ 0.4% เนื่องจากปริมาณของ Ca^{2+} ที่สูงเกินไปทำให้โมเลกุลของแอคตินและไมโอซินเปลี่ยนแปลงโครงร่างอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการจับรวมตัวกันแบบสุ่มเป็นผลให้โครงสร้างตาข่ายสามมิติของเจลที่ได้ไม่มีความต่อเนื่องเจลจึงกักเก็บน้ำไว้ได้ปริมาณต่ำ (Thongrueng, 2001) น้ำจึงถูกปลดปล่อยออกจากโครงข่ายเจลส่งผลให้เจลมีค่าปริมาณของเหลวบีบอัดสูง

ตารางที่ 2 ปริมาณ $CaCl_2$ ต่อ ค่าสี และปริมาณของเหลวบีบอัดของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ปริมาณ $CaCl_2$	ค่าสี				ปริมาณของเหลวบีบอัด
(%)	L*	a*	b*	W	(%)
0.0	67.17 ± 0.14^{e}	-0.05 ± 0.04^{a}	12.82 ± 0.16^{b}	64.83 ± 0.18^{e}	8.83 ± 0.01^{a}
0.2	67.49 ± 0.06^{d}	-0.14 ± 0.02^{b}	12.31 ± 0.02^{c}	65.18 ± 0.04^{d}	7.41 ± 0.21^{a}
0.4	69.85 ± 0.11^{c}	-0.21 ± 0.02^{c}	13.11 ± 0.04^{ab}	66.66 ± 0.10^{c}	7.25 ± 0.10^{a}
0.6	70.25 ± 0.03^{b}	-0.31 ± 0.02^{d}	13.27 ± 0.08^{a}	67.66 ± 0.01^{b}	22.41 ± 1.07^{c}
0.8	71.24 ± 0.01^{a}	-0.10 ± 0.02^{ab}	12.43 ± 0.25^{c}	68.69 ± 0.08^{a}	13.66 ± 1.23^{b}

$^{a, b, \ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าค่าสีและปริมาณของเหลวบีบอัดของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าค่าลักษณะเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ $CaCl_2$ ที่เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสูงสุดเมื่อเติม $CaCl_2$ 0.4% ของน้ำหนักเนื้อปลา เนื่องจาก Ca^{2+} มีผลต่อการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อ โดยทำให้เกิดการเชื่อมข้ามของสายแอคโทไมโอซินด้วยพันธะไอโซเปปไทด์เกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติที่สามารถกักเก็บน้ำได้ดีเป็นผลให้เจลที่ได้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น (Yongsawatdigul, Worratao, & Park, 2002) และเมื่อเพิ่มปริมาณ $CaCl_2$ สูงกว่า 0.4% ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก Ca^{2+} ไปเร่งการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ด้วยการสร้างพันธะไอโซเปปไทด์ในเจลที่สูงเกินไปส่งผลให้ขัดขวางการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างตาข่ายที่ต่อเนื่องของเจลทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง (Benjakul, Visessanguan, & Pecharat, 2004)

ตารางที่ 3 ปริมาณ $CaCl_2$ ต่อ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ปริมาณ $CaCl_2$ (%)	ลักษณะเนื้อสัมผัส				
	ความแข็ง (g force)	ความยืดหยุ่น	การเกาะติด	ความเหนียว	ความแข็งแรงของเจล (g force)
0.0	8230.29 $\pm$ 35.73^{c}	1.50 $\pm$ 0.04^{c}	0.85 $\pm$ 0.007^{c}	7456.67 $\pm$ 18.53^{c}	943.25 $\pm$ 67.76^{b}
0.2	8895.40 $\pm$ 10.73^{b}	1.92 $\pm$ 0.04^{b}	0.87 $\pm$ 0.001^{b}	7820.42 $\pm$ 52.04^{b}	1042.85 $\pm$ 21.60^{ab}
0.4	9716.19 $\pm$ 158.06^{a}	2.12 $\pm$ 0.05^{a}	0.90 $\pm$ 0.004^{a}	8141.52 $\pm$ 64.09^{a}	1189.98 $\pm$ 99.84^{a}
0.6	7010.16 $\pm$ 51.03^{e}	0.81 $\pm$ 0.03^{e}	0.80 $\pm$ 0.002^{e}	6536.76 $\pm$ 70.61^{e}	707.90 $\pm$ 20.43^{c}
0.8	7948.52 $\pm$ 72.33^{d}	0.95 $\pm$ 0.05^{d}	0.73 $\pm$ 0.001^{d}	6924.14 $\pm$ 102.53^{d}	867.11 $\pm$ 104.46^{bc}

$^{a, b, \ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง จากตารางที่ 4 พบว่าผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสสอดคล้องกับการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 3) โดยปริมาณ $CaCl_2$ ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อเพิ่มปริมาณ $CaCl_2$ สูงกว่า 0.4% มีผลให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสลดลง จึงทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องที่มีการเติม $CaCl_2$ 0.4% มากที่สุด จึงนำผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องที่มีปริมาณ $CaCl_2$ 0.4% ไปศึกษาร่วมกับการเติมไข่ขาวผงในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4 ปริมาณ $CaCl_2$ ต่อ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ปริมาณ $CaCl_2$ (%)	ลักษณะทางประสาทสัมผัส						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	ความชุ่มฉ่ำ	ความแน่นเนื้อ	ความเหนียว	ความชอบโดยรวม
0.0	6.63 ± 1.38^{b}	6.33 ± 1.37^{b}	5.90 ± 1.35^{b}	5.60 ± 1.16^{b}	5.97 ± 1.22^{b}	5.47 ± 1.46^{b}	6.10 ± 1.32^{b}
0.2	6.73 ± 1.60^{b}	6.83 ± 1.42^{b}	6.23 ± 1.57^{ab}	6.37 ± 1.25^{a}	6.07 ± 1.57^{b}	5.97 ± 1.59^{ab}	6.37 ± 1.35^{b}
0.4	7.70 ± 1.09^{a}	7.50 ± 0.90^{a}	6.93 ± 1.02^{a}	6.83 ± 0.95^{a}	7.37 ± 1.27^{a}	6.47 ± 1.17^{a}	8.03 ± 0.89^{a}
0.6	6.03 ± 1.71^{bc}	6.53 ± 1.28^{b}	5.93 ± 1.55^{b}	4.83 ± 1.62^{c}	4.63 ± 1.90^{c}	4.60 ± 1.73^{c}	5.20 ± 1.52^{c}
0.8	5.77 ± 1.62^{c}	6.53 ± 1.14^{b}	6.00 ± 1.60^{b}	5.67 ± 1.45^{b}	5.63 ± 1.85^{b}	5.53 ± 1.63^{b}	6.00 ± 1.46^{b}

[a, b, c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ผลของแคลเซียมคลอไรด์และไข่ขาวผงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องมีปริมาณ $CaCl_2$ 0.4% และ ปริมาณไข่ขาวผง (EWP) 0,1, 2, 3, 4 และ 5% ของน้ำหนักเนื้อปลา ซึ่งการใช้ $CaCl_2$ร่วมกับ EWP มีผลต่อคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

ผลของแคลเซียมคลอไรด์และไข่ขาวผงต่อระดับกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอสที่ไปย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อปลา (ตารางที่ 5) พบว่าระดับของกิจกรรมเอนไซม์โปรตีเอสมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ EWP ที่เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากไข่ขาวมีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์โปรตีเอสโดยเกิดจากการเหนี่ยวนำทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ซัลฟ์ไฮดริล 2 หมู่ของโปรตีนไข่ขาวกับของเอนไซม์โปรตีเอสมีผลให้เอนไซม์โปรตีเอสไม่สามารถแสดงกิจกรรมได้ แต่เมื่อมีการเติม EWP สูงกว่า 3% พบว่ามีระดับกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอสเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะปริมาณของ EWP ที่สูงเกินไปจะเกิดการจับกันเองระหว่างหมู่ซัลฟ์ไฮดริลของ EWP ทำให้ไม่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริลใน EWP เหลือพอที่จะเข้าจับหมู่ซัลฟ์ไฮดริลในเอนไซม์โปรตีเอสจึงเป็นผลให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยายับยั้งเอนไซม์โปรตีเอสได้ (Arunrungsawas, 2009) ระดับกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอสจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าปริมาณ EWP ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า pH ลดลงอยู่ในช่วง 6-8 ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดเจลที่มีคุณภาพดี

ตารางที่ 5 ปริมาณ EWP ต่อ ระดับกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอสและค่า pH ของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ปริมาณ EWP (%)	กิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอส (unit/mg protein)	pH
0	0.0057 ± 0.0001^{b}	6.77 ± 0.02^{a}
1	0.0058 ± 0.0002^{b}	6.75 ± 0.01^{b}
2	0.0031 ± 0.0001^{a}	6.74 ± 0.01^{b}
3	0.0028 ± 0.0000^{a}	6.73 ± 0.01^{bc}
4	0.0170 ± 0.0014^{c}	6.71 ± 0.02^{cd}
5	0.0058 ± 0.0000^{b}	6.70 ± 0.01^{d}

[a, b, ...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 6 พบว่า EWP ที่เติมลงไปนั้นเมื่อมีปริมาณสูงขึ้นส่งผลให้ ค่า L* a* และ b* มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยค่า W และความสว่าง (L*) เกิดจากเมื่อให้ความร้อนโปรตีนไข่ขาวจะเกิดการตกลิ่มและได้สีขาวทำให้กลบสีของเนื้อปลาทรงเครื่องจึงมีผลให้สีสว่างกว่าสีของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องที่ไม่มี EWP ส่วนค่าความเป็นสีแดงที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจเกิดขึ้นจากเนื้อปลาลังที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องไม่ได้ผ่านการล้างน้ำจึงยังมีเลือดซึ่งมีไมโอโกลบินที่เป็นรงควัตถุสีแดงอยู่มากทำให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้นได้ ในขณะที่ค่าสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากในไข่ขาวมีไรโบฟลาวินหรือวิตามินบี 2 ซึ่งให้สีเหลืองแก่ไข่ขาว และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ EWP มีผลให้ค่าปริมาณของเหลวบีบอัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อมีการให้ความร้อนแล้วเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติ การใช้ปริมาณ EWP 1 ถึง 3% ทำให้ค่าปริมาณของเหลวบีบอัดลดลงจาก 7.97 เป็น 4.15% เนื่องจากโอวัลบูมินในไข่ขาวประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริลซึ่งมีผลทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์กับหมู่ซัลฟ์ไฮดริลที่มีอยู่ในโปรตีนในกล้ามเนื้อปลาเมื่อมีการให้ความร้อนจะเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติทำให้สามารถจับหรือกักโมเลกุลของน้ำเข้าไว้ในโครงสร้างสามมิตินั้นจึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 6 ปริมาณ EWP ต่อค่าสี และปริมาณของเหลวบีบอัดของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ปริมาณ EWP	ค่าสี				ปริมาณของเหลวบีบอัด
(%)	L*	a*	b*	W^{ns}	(%)
0	69.23 $\pm$ 0.49^{b}	-0.45 $\pm$ 0.04^{e}	12.81 $\pm$ 0.15^{c}	66.63 $\pm$ 0.44	7.97 $\pm$ 0.13^{a}
1	68.41 $\pm$ 0.04^{b}	-0.14 $\pm$ 0.02^{d}	13.12 $\pm$ 0.24^{c}	65.80 $\pm$ 0.05	5.60 $\pm$ 0.86^{bc}
2	68.79 $\pm$ 0.69^{b}	-0.11 $\pm$ 0.01^{d}	13.82 $\pm$ 0.26^{b}	65.87 $\pm$ 0.72	4.56 $\pm$ 0.44^{cd}
3	68.84 $\pm$ 0.33^{b}	0.11 $\pm$ 0.04^{c}	13.91 $\pm$ 0.04^{b}	65.87 $\pm$ 0.32	4.15 $\pm$ 0.30^{d}
4	70.14 $\pm$ 0.06^{a}	0.46 $\pm$ 0.00^{a}	15.16 $\pm$ 0.15^{a}	66.51 $\pm$ 0.01	8.61 $\pm$ 0.93^{a}
5	68.61 ± 0.04^{b}	0.39 ± 0.01^{b}	15.01 ± 0.17^{a}	65.21 ± 0.04	6.57 ± 0.94^{b}

$^{a, b,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns} หมายถึง ในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 7 พบว่าปริมาณ EWP ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านต่างๆ มีแนวโน้มสูงขึ้น ($p\leq0.05$) เนื่องจากในการทดลองนี้มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (40°C) เพื่อทำให้โปรตีนมีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการเกิดเจลที่ดีทำให้มีความคงตัว การให้ความร้อนนี้โปรตีนจากไข่ขาวและโปรตีนจากเนื้อปลาจะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติจึงมีการคลายตัวของโพลีเปปไทด์ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเกิดเป็นสายยาวโดยมีโซ่ข้างที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งพันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนท์ รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ซัลฟ์ไฮดริลไปเป็นพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติ แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณ EWP สูงกว่า 3% ทำให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านต่างๆ มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากหมู่ซัลฟ์ไฮดริลจากไข่ขาวที่มีสูงขึ้นนั้นทำปฏิกิริยากันเองจึงมีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลน้อยลง และถ้าโปรตีนส่วนนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้การยึดเกาะระหว่างโปรตีนจากไข่ขาวและโปรตีนจากเนื้อปลาลดลง เนื่องจากโปรตีนของไข่ขาวที่ทำปฏิกิริยากันเองนั้นเมื่อเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติอย่างสมบูรณ์จะมีคุณสมบัติเปราะและแตกหักง่าย ซึ่งจากงานวิจัย

ของ Chumreang, Sangjindavong, & Pluksawanich (1999) รายงานว่าการใช้ไข่ขาวในปริมาณที่สูงกว่า 3% ในการศึกษาผลของไข่ขาวเพื่อเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดขึ้นรูปมีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำลงเช่นกัน

ตารางที่ 7 ปริมาณ EWP ต่อค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ปริมาณ EWP (%)	ลักษณะเนื้อสัมผัส				
	ความแข็ง (g force)	ความยืดหยุ่น	การเกาะติด	ความเหนียว	ความแข็งแรงของเจล (g force)
0	7164.10 ± 768.79^{c}	0.88 ± 0.11^{d}	0.85 ± 0.003^{e}	6292.57 ± 0.00^{d}	932.67 ± 5.83^{e}
1	9675.22 ± 39.32^{a}	1.01 ± 0.00^{c}	0.90 ± 0.001^{c}	8681.04 ± 41.09^{bc}	1248.60 ± 26.79^{c}
2	9748.01 ± 121.86^{a}	1.28 ± 0.03^{b}	0.91 ± 0.006^{b}	10562.73 ± 59.66^{a}	1355.78 ± 21.04^{b}
3	9865.51 ± 487.98^{a}	1.47 ± 0.01^{a}	0.92 ± 0.002^{a}	9783.72 ± 53.02^{ab}	1438.72 ± 49.74^{a}
4	8068.29 ± 51.00^{bc}	0.98 ± 0.01^{cd}	0.88 ± 0.003^{d}	7703.46 ± 38.32^{cd}	1048.94 ± 18.34^{d}
5	8674.37 ± 173.49^{b}	0.92 ± 0.10^{cd}	0.85 ± 0.004^{e}	8145.84 ± 17.34^{bc}	932.67 ± 6.25^{e}

$^{a, b, \ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 8 พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องที่เติม EWP 1 2 และ 3% ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดอยู่ในช่วง 7.00 ถึง 7.17 อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับปริมาณไข่ขาว 1 และ 2% ทั้งนี้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสอดคล้องกับการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือ (ตารางที่ 7) ซึ่งพบว่าปริมาณ EWP ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและความแข็งแรงของเจลของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อมีการเติม EWP 4% ทำให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสและค่าความแข็งแรงของเจลลดลงจึงทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องที่มีการเติม EWP 4% ต่ำที่สุด

ตารางที่ 8 ปริมาณ EWP ต่อ คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่อง

ปริมาณ EWP (%)	ลักษณะทางประสาทสัมผัส						
	ลักษณะปรากฏ	สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	ความชุ่มฉ่ำ	ความแน่นเนื้อ	ความเหนียว	ความชอบโดยรวม
0	6.97 ± 1.27^{a}	6.90 ± 1.32	6.17 ± 1.59	5.67 ± 1.61^{b}	5.53 ± 1.59^{d}	5.07 ± 1.23^{c}	5.67 ± 1.18^{cd}
1	7.23 ± 1.14^{a}	6.93 ± 1.08	6.17 ± 1.23	6.47 ± 1.31^{a}	6.90 ± 1.24^{ab}	7.03 ± 1.16^{a}	6.87 ± 1.28^{ab}
2	7.00 ± 1.15^{a}	6.87 ± 1.33	6.30 ± 1.32	6.57 ± 1.14^{a}	7.03 ± 1.27^{a}	6.87 ± 1.31^{a}	7.00 ± 1.15^{a}
3	7.00 ± 1.58^{a}	6.70 ± 1.39	6.53 ± 1.46	6.47 ± 1.38^{a}	7.17 ± 1.29^{a}	7.17 ± 1.46^{a}	7.17 ± 1.51^{a}
4	5.83 ± 1.26^{b}	6.37 ± 1.19	5.80 ± 1.45	5.47 ± 1.41^{b}	5.67 ± 1.24^{cd}	5.53 ± 1.36^{bc}	5.53 ± 1.17^{d}
5	6.30 ± 1.09^{b}	6.53 ± 1.31	6.00 ± 1.39	5.90 ± 1.10^{ab}	6.30 ± 1.12^{bc}	5.90 ± 1.21^{b}	6.27 ± 1.02^{bc}

$^{a, b, \ldots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณ $CaCl_2$ มีผลต่อระดับกิจกรรมของเอนไซม์ Ca^{2+}-ATPase ค่า pH ค่าสี L* a* b* และค่า W ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสและค่าปริมาณของเหลวบีบอัด โดยผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องที่มีการเติม $CaCl_2$ 0.4% ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งแรงของเจลสูงสุด และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดซึ่งคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก และเมื่อนำมาศึกษาผลของ $CaCl_2$ ร่วมกับ EWP พบว่ามีผลต่อระดับกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอส ค่า pH ค่าสี L* a* b* ลักษณะเนื้อสัมผัสและค่าปริมาณของเหลวบีบอัด โดยผลิตภัณฑ์ปลาทรงเครื่องที่มีการเติม $CaCl_2$ 0.4% ร่วมกับการเติม EWP 3% ของน้ำหนักเนื้อปลา ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งแรงของเจลสูงสุดและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดซึ่งคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าปลาลังสามารถนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์โดยมีการใช้ $CaCl_2$ และ EWP เป็นตัวช่วยซึ่งสามารถนำไปต่อยอดในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่อุตสาหกรรมประมงได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้การสนับสนุนโดยการมอบทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

Arunrungsawas, S. (2009) *Fundamentals of Biochemistry*, Bangkok: Top. (in Thai)

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

Benjakul, S. (2005). *Chemistry and Quality of Aquatic Animals*. Bangkok: Odeonstore. (in Thai)

Benjakul, S. (2006). *Surimi: Science and Technology*. Bangkok: Odeonstore. (in Thai)

Benjakul, S., Seymour, T. S., Morrissey, M. T., & An, H. (1997). Physicochemical changes in Pacific whiting muscle proteins during iced storage. *Journal of Food Science*, *62*(4), 729-733.

Chaijan, M., Panpipat, W., & Benjakul, S. (2010). Physicochemical properties and gel-forming ability of surimi from three species of mackerel caught in Southern Thailand. *Food Chemistry, 121*, 85-92.

Chajeamjen, T. Saenmuang, K., Kongwut, P. & Pornpinon, W. (2012). Effect of heat treatment and calcium chloride on gel forming ability of silver carp surimi (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Food Journal, 42(4)*, 323-332. (in Thai)

Chanarat, S., & Benjakul, S. (2013). Impact of microbial transglutaminase on gelling properties of Indian mackerel fish protein isolates. *Journal of Food Chemistry, 136,* 929-937.

Chumreang, S., Sangjindavong. M., & Pluksawanich, K. (1999). Uses of potassium bromate and egg white for increasing gel forming ability of surimi*. Kasetsart Journal. 33* (1), 102-110. (in Thai)

Foegeding, E.A., Lanier, T.C. & Hultin, H.O. (1996). Characteristics of edible muscle tissues. In O.R. Fennema (Ed.), *Food Chemistry*. (pp. 879-942). New York: Marcel Dekker.

Park, J. W. (1994). Functional protein additives in surimi gels. *Journal of Food Science*, *59,* 525–527.

Peterson, G. L. (1977). A simplification of the protein assay method of Lowry *et al.* which is more generally applicable. *Journal of Analytical Biochemistry*, *83*, 346-356.

Seymour, T.A., Morrissey, M.T., Peters, M.Y. & An, H. (1994). Purification and characterization of Pacific whiting proteases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42*(11), 2421-2427.

Thongrueng, J. (2001). *Surimi*. Bangkok: Chulanlongkorn University Press. (in Thai)

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.