ผลของทรานส์กลูตามิเนสและแป้งดัดแปรต่อคุณภาพของทอดมันปลา

ลัชชาภรณ์ ธรรมธีรเสถียร* และกิตยาการ อิศรางกูร ณ อยุธยา

สาขาวิชาการจัดการธุรกิจอาหาร คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา ดุสิต กรุงเทพฯ 10300

*E-mail: latchaporn.tha@cdti.ac.th

รับบทความ: 14 เมษายน 2563 แก้ไขบทความ: 28 มิถุนายน 2563 ยอมรับตีพิมพ์: 24 กรกฎาคม 2563

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ทอดมันปลามีอายุการเก็บรักษาได้ไม่เกิน 3 วัน หลังจากนั้นเนื้อสัมผัสของทอดมันปลาแย่ลงคือผลิตภัณฑ์ทอดมันปลาคืนตัวและร่วนซุยไม่สามารถปั้นเป็นก้อนได้ มีผลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค และเป็นการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของทอดมันปลา งานวิจัยนี้เลือกใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร่วมกับแป้งดัดแปรในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและยืดอายุการเก็บรักษาของทอดมันปลา โดยศึกษาเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 3 ชนิด คือ TG–AK TG–B และ TG–SR–MH ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักเนื้อปลาพบว่า ทอดมันปลาที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกลักษณะ สำหรับคะแนนทางด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมพบว่าสูตร TG–AK ได้รับคะแนน 6.725±0.452 และ 6.925±0.526 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) กับสูตร TG–B และ TG–SR–MH จากนั้นผลิตทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ร้อยละ 0.5 ร่วมกับการแปรปริมาณแป้งดัดแปรในผลิตภัณฑ์ทอดมันปลาร้อยละ 2 3 และ 4 โดยน้ำหนักเนื้อปลา (สูตรทดสอบ) พบว่าคะแนนด้านสีและกลิ่นรสนั้นสูตรทดสอบที่ใช้แป้งดัดแปรร้อยละ 3 มีค่าสูงสุด คือ 7.125±0.992 และ 7.159±0.864 ตามลำดับ สำหรับคะแนนด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม พบว่า สูตรทอดมันปลาที่ใช้ปริมาณแป้งดัดแปรร้อยละ 4 ได้รับคะแนนมากที่สุดคือ 7.125±0.791 และ 7.359±0.912 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) กับทอดมันปลาที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 จากการวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัสในทอดมันปลาสูตรควบคุมมีค่าความแข็ง 18,802.060± 1,275.042 กรัม ขณะที่สูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 พบค่าความแข็งสูงกว่าที่ 33,294.384±4,765.243 กรัม ($p \leq 0.05$) และค่าความแข็งนี้ลดลงร้อยละ 16.713 และร้อยละ 11.615 ในทอดมันปลาสูตรควบคุมและสูตรทดสอบที่ใช้แปรดัดแปรร้อยละ 3 ตามลำดับในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส) ค่าความยืดหยุ่น ค่าการเกาะติดกันภายในของเนื้ออาหาร และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว พบว่า ทอดมันปลาสูตรควบคุมมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้ 3 วัน แต่ทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 2 3 และ 4 มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความยืดหยุ่นในทอดมันปลาสูตรควบคุมมีค่าลดลงร้อยละ 4.589 แต่มีค่าเพิ่มขึ้นในทอดมันปลาสูตรทดสอบทั้ง 3 สูตร เมื่อเก็บรักษาไว้ 3 วัน และมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ในทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 ค่าความยืดหยุ่นพบว่าในทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นสูง

ที่สุดร้อยละ 8.036 เมื่อเก็บรักษาไว้ 3 วัน เช่นเดียวกันกับค่าการเกาะติดกันภายในของเนื้ออาหารที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดร้อยละ 17.081 และเช่นเดียวกันกับค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวที่พบค่าต่ำสุดในทอดมันปลาสูตรควบคุมทั้งในวันที่ 0 และวันที่ 3 ซึ่งวันที่ 3 มีค่าลดลงร้อยละ 23.787 ขณะที่ทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดจากวันที่ 0 ถึงร้อยละ 13.187 ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัด-แปรร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า คะแนนในด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมในสูตรทดสอบในวันที่ 3 ได้รับคะแนนสูงสุด ในด้านอายุการเก็บรักษาจากการคำนวณ พบว่าสามารถเก็บได้นาน 2.964±0.218 6.163±0.210 7.438±0.359 และ 7.852±0.222 วัน สำหรับทอดมันปลาสูตรควบคุมและทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ทอดมันปลา ทรานส์กลูตามิเนส แป้งดัดแปร

Effect of Transglutaminase and Modified Starch on Qualities of Fish Cake

Latchaporn Thamteerasathian* and Kittayakarn Isarangura Na Ayuthya

Program Study of Food Business Management, Faculty of Business Administration,
Chitralada Technology Institute, Dusit, Bangkok 10300, Thailand
*E-mail: latchaporn.tha@cdti.ac.th

Received: 14 April 2020 Revised: 28 June 2020 Accepted: 24 July 2020

Abstract

In general, fish cake products have a shelf life for only three days, after that the texture becomes crumble and unable to make a fish cake shape. This unstable texture affects consumers' buying choices, and it is considered the end of the shelf life of fish cakes. Transglutaminase enzymes and modified starch were used in this research to improve the texture and extend shelf life of fish cake. By studying the three types of transglutaminase enzyme, TG–AK, TG–B and TG–SR–MH at 0.5% by fish weight. It was found that fish cakes using transglutaminase enzyme TG–AK received the highest scores in all aspects. For the texture and overall preference, TG–AK received 6.725±0.452 and 6.925±0.526 respectively, and there was a statistically significant difference ($p \leq 0.05$) with the TG–B and TG–SR-MH. The 0.5% TG–AK transglutaminase enzyme was selected for further study with modified starch 2%, 3% and 4% by fish weight (tested formula). The result of sensory evaluation found that the tested formula using 3% modified starch obtained the highest scores in colour and flavour scores with 7.125±0.992 and 7.159±0.864, respectively. For the texture and overall preference scores, the tested formula using 4% modified starch received the highest scores as 7.125±0.791 and 7.350±0.921, respectively but there were no significant differences ($p > 0.05$) with the tested formula using 3% modified starch. From the texture analysis found that the control obtained hardness value as 18,802.060±1,275.042 grams, while the tested formula with 3% modified starch showed a higher value than the control as 33,294.384±4,765.243 grams ($p \leq 0.05$). The hardness values decreased 16.713% and 11.615% in the control and tested formulas using 3% modified starch, respectively for the third day of storage (temperature 4±2 degrees Celsius). Springiness, cohesiveness, and chewiness values in the control decreased after three day of storage, while the values increased in tested formula (2%, 3%, and 4% modified starch). Springiness value of tested formula using 3% modified starch obtained the highest increment

at 8.036% on the third day of storage, and as the same result as cohesiveness value with 17.081%. Similarly, the lowest chewiness values were found in the control for the day of production and the third day of storage with 23.787% decreased on the third day of storage; whereas, the tested formula with 3% modified starch obtained the highest increment of 13.187% from the day of production. Sensory evaluation of fish cake with 0.5% transglutaminase and 3% modified starch compared to the control on the day of production and the third day of storage was found that the scores of flavour, texture and overall preference were highest in the tested fish cake with 0.5% transglutaminase and 3% modified starch on the third day of storage. Shelf life was calculated and found that the shelf life of the control, 2%, 3% and 4% modified starch fish cakes were 2.964±0.218, 6.163±0.210, 7.438±0.359 and 7.852±0.222 days, respectively.

Keywords: Fish cake, Transglutaminase, Modified starch

บทนำ

ทอดมันปลาเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาบดที่ได้รับความนิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย เป็นได้ทั้งอาหารมื้อหลักหรืออาหารว่าง ทอดมันคือการนำเนื้อปลามาสับผสมให้เข้ากับน้ำพริกแกงเผ็ดและเครื่องเทศต่าง ๆ จากนั้นนำลงทอดในน้ำมันให้เหลือง (Thai community product standard, 2005) ทอดมันปลาสามารถผลิตได้จากปลาชนิดต่าง ๆ เช่น ปลากราย ปลานิล ปลายี่สก ปลานวลจันทร์ ปลาแหลมเกล็ด ปลาจีน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคเนื่องจากมีรสชาติอร่อย รับประทานได้ง่าย ทอดมันปลาที่มีคุณภาพดีคือต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม ยืดหยุ่น มีการเกาะตัวกันของผลิตภัณฑ์ที่ดี และไม่เกิดการแยกชั้นกันของเนื้อสัมผัสก่อนการนำไปทอด แต่มักพบปัญหาคือมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น

ผลิตภัณฑ์ทอดมันปลาเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์หลักของธุรกิจแพปลา ร้านมั่นกิจ อ.เมืองสมุทรปราการ ทอดมันปลาของร้านนี้ได้เนื้อปลามาจากหลายสายพันธุ์ เช่น ปลายี่สก ปลานวลจันทร์ ปลาแหลมเกล็ด ปลาจีน จากการศึกษากระบวนการผลิตเบื้องต้นพบว่าปัญหาในผลิตภัณฑ์คือคุณลักษณะของทอดมันปลานั้นมีความเหนียวและการเกาะตัวกันลดลงภายใน 3 วัน ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทอดมันลดลงและมีผลต่อยอดขายที่ลดลงด้วยตามระยะเวลาการเก็บรักษา

เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (transglutaminase: TGase) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดพันธะไอโซเพปไทด์ (isopeptide) ระหว่างหมู่แกมมาคาร์บอกซาไมด์ (γ–carboxamide) ของกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) ของสายเพปไทด์หรือโปรตีน และสารประกอบเอมีน (primary ε–amine groups) เป็นผลทำให้เกิดการย้ายหมู่เอซิล (acyl group transfer) และได้แอมโมเนีย (NH_3) จากปฏิกิริยา สำหรับกรณีที่มีไลซีน (lysine) ในปฏิกิริยา จะทำให้หมู่เอซิลสร้างพันธะพอลิเพปไทด์กับไลซีนเกิดการเชื่อมโยงข้ามระหว่างหรือภาย-ในเซลล์ของแอปซิลอน–(แกมมา–กลูตามิล)–ไลซีน (ε–(γ–glutamyl)–lysine) ซึ่งทำให้เกิดโครงข่ายโปรตีนที่มีความเสถียรมากขึ้น กรณีที่ขาดแคลนหมู่อะมิโนอิสระ TGase จะเร่งปฏิกิริยา

การขจัดหมู่อะมิโน (deamination reaction) ของกลูตามีน ได้เป็นกรดกลูตามิกและแอมโมเนีย ปฏิกิริยาของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของโปรตีน เช่น ความหนืด การคงตัว ความยืดหยุ่น (Kieliszek and Blazejak, 2016) เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TGase) เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อปลาตามธรรมชาติ โดยอาจพบมากน้อยแตกต่างกันตามแต่ชนิดของปลา และพบว่าเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซูริมิ เพราะทำให้เนื้อปลาบดเกิดเจลโปรตีนที่ดี ซึ่งถือเป็นการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาได้เป็นอย่างดี และยังใช้ในการเพิ่มมูลค่าของเนื้อปลาบางชนิดที่มีเอนไซม์ชนิดนี้น้อย (Kapunsit and Leksawas, n.d.)

Limroongreungrat *et al*. (2011) ศึกษาผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของบะหมี่เสริมใบมะรุมผง พบว่าค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่ต้มสุกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (จากร้อยละ 0–0.3) เนื่องจากเอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการเชื่อมสายโปรตีนระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีนในสายเปปไทด์กับสารประกอบเอมีน โดยเกิดพันธะ ε–(γ–glutamyl)–lysine แต่ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.5–0.9) เนื่องจากปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่มากเกินกว่ากิจกรรมการเชื่อมโปรตีน จะส่งผลให้เอนไซม์ไปเร่งปฏิกริยาการย้ายหมู่เอซิลของกลูตามีนกับสารประกอบเอมีนอิสระ และนอกจากนี้น้ำยังเป็นตัวรับหมู่เอซิลของกลูตามีนในปฏิกิริยาดีเอมิเนชัน (deamination) เป็นกรดกลูตามิก ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าสี มีความแตกต่างกัน (p > 0.05) จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าบะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

Sungtong *et al*. (2006) ศึกษาผลของเกลือฟอสเฟตและเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในการป้องกันการแตกร้าวของอกไก่รูปลูกเต๋าแช่เยือกแข็ง พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟตร้อยละ 1 และการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จะช่วยลดจำนวนชิ้นอกไก่ที่แตกร้าวลงถึงร้อยละ 25.84 และพบว่าการเพิ่มปริมาณเอนไซม์นั้นทำให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์มากขึ้นและเป็นผลให้จำนวนอกไก่ที่ร้าวมีจำนวนน้อยลง

จากการศึกษาอิทธิพลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อสมบัติการไหล (rheology) โครงสร้างจุลภาค (microstructure) และสมบัติการอบของผลิตภัณฑ์โดแช่แข็ง (frozen dough) โดยใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 นั้น พบว่าปริมาณเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เพิ่มค่ามอดูลัสสะสม (storage modulus) และมอดูลัสสูญเสีย (loss modulus) ในผลิตภัณฑ์โด และยังส่งผลที่ดีขึ้นต่อสมบัติต่าง ๆ ของโดและขนมปังในทั้งสภาวะสดและแช่แข็ง โดยที่เอนไซม์นี้จะพัฒนาโครงสร้างเครือข่ายของกลูเตนให้แข็งแรงมากขึ้น (Huang *et al*., 2008)

Rattanasuwan and Radinghin (2015) ศึกษาผลของแป้งดัดแปรต่อคุณภาพของทอดมันปลาตะเพียนแช่เยือกแข็ง พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งดัดแปรแบบ cross linked starch (ระดับที่ศึกษาคือร้อยละ 0–6 ของน้ำหนักเนื้อปลา) ในทอดมันปลาตะเพียนแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้ค่า thiobarbi-

turic acid (TBA) และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำลดลง ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าสี L* a* b* และค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)

Israkarn (2005) ศึกษาผลของการเติมสตาร์ชดัดแปรและไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ แซนแทน กัมและคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวแช่เยือกแข็ง พบว่า การเติมสตาร์ชดัดแปร (ร้อยละ 4 และ 8) และแซนแทนกัมร้อยละ 0.02 และ 0.04 หรือคาร์บอกซิลเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 0.05 และ 0.10 จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์แช่เยือกแข็งได้เล็กน้อย โดยคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสช่วยลดการตกผลึกใหม่ของน้ำแข็ง ทำให้เนื้อสัมผัสดีขึ้น ขณะที่แซนแทนกัมช่วยลดการคืนตัวของอะไมโลส ทำให้มีความขุ่นน้อยลง ส่วนสตาร์ชดัดแปรมีหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลโดยช่วยขัดขวางการรวมกลุ่มของสายโซ่สตาร์ช ทำให้คุณภาพดีขึ้นและสามารถทนต่อการคืนสภาพจากการแช่เยือกแข็งได้

จากการศึกษาผลของสารปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสทางการค้า คือ แคปป้า–คาร์ราจีแนน (kappa–carrageenan) ไฟเบอร์สกัดจากเปลือกส้ม และแซนแทนกัม (xanthan gum) ในปริมาณร้อยละ 0.5 ร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากจุลินทรีย์ (microbial transglutaminase: MTGase) ร้อยละ 0.5 เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เติมโซเดียมไตรฟอสเฟต (sodium triphosphate) และวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพหลังการแช่แข็ง–ละลาย 12 รอบ พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนช่วยทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปดีกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) และมีความคงตัวการแช่แข็ง–ละลายไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (Wongthahan and Thawornchinsombat, 2013)

Thongsila and Huangrak (2013) ศึกษาการใช้ไดสตาร์ชฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 3 5 และ 7 และเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งสาลี เพื่อเพิ่มความคงตัวในการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งของแผ่นเกี๊ยว พบว่า การใช้ปริมาณไดสตาร์ชฟอสเฟตเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง การใช้ไดสตาร์ชฟอสเฟตร้อยละ 5 ขึ้นไป ทำให้ค่าด้านแรงตัด งานที่ใช้เฉือน และความต้านทานแรงดึงทั้งจากแผ่นเกี๊ยวก่อนและหลังแช่เยือกแข็งสูงสุด ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของแผ่นเกี๊ยวหลังแช่เยือกแข็งที่ใช้ไดสตาร์ชฟอสเฟตร้อยละ 3 ได้คะแนนไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุม สำหรับการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสพบว่าเมื่อใช้ในปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง และการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 2 ทำให้ค่าแรงตัดงานที่ใช้เฉือน และแรงดึงมีค่าสูงสุดทั้งจากแผ่นเกี๊ยวก่อนและหลังแช่เยือกแข็ง จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนความชอบโดยรวมหลังแช่เยือกแข็งเมื่อใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 1.5 สูงกว่าคะแนนจากตัวอย่างควบคุม ผลการศึกษาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด ไม่สามารถเห็นความแตกต่างของโครงสร้างภายในจากตัวอย่างควบคุมเมื่อใช้ทั้งไดสตาร์ชฟอสเฟตหรือเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

Cardoso *et al*. (2009) ศึกษาอิทธิพลของใยอาหาร (เส้นใยภายในของถั่วร่วมกับอินูลินของรากชิโครี ร้อยละ 2 และร้อยละ 4) และเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ต่อคุณภาพของเจลซูริมิปลาแมกเคอเรล พบว่า การเกาะติดกันภายในของเนื้ออาหาร หรือค่าการทนต่อการ

เปลี่ยนแปลงรูปร่าง (cohesiveness) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.19–0.41 เป็น 0.59–0.72 อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 60 ในสูตรที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 และเส้นใยร้อยละ 4 ซึ่งเป็นการพัฒนาคุณภาพของซูริมิ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาเนื้อสัมผัสของทอดมันปลา ด้านความเหนียวและการเกาะตัวกัน พร้อมทั้งศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (transglutaminase: TGase) ร่วมกับแป้งดัดแปร (waxy tapioca modified starch) เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาชนิดเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสม จำนวน 3 ชนิด จากบริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด คือ TG–AK TG–B และ TG–SR–MH ในปริมาณร้อยละ 0.5 (Cardoso *et al*., 2009, 2012; Sungtong *et al*., 2006; Wongthahan and Thawornchinsombat, 2013) เพื่อพัฒนาคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทอดมันปลา จากนั้นนำทอดมันปลาทั้ง 3 สูตรที่ได้ มาประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบจำนวน 40 คน โดยการให้คะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ คือ สีด้านในของทอดมัน กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสูตรปรับปรุงทั้ง 3 สูตร โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนน 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด) เพื่อได้สูตรที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

ศึกษาชนิดเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมที่สุดร่วมกับแป้งดัดแปร ชนิด waxy tapioca modified starch จากบริษัท สยาม มอดิฟายด์ สตาร์ช จำกัด (SMS) โดยการแปรปริมาณร้อยละ 2 3 และ 4 เพื่อพัฒนาคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทอดมันปลา จากนั้นนำทอดมันปลาทั้ง 3 สูตรที่ได้มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบจำนวน 40 คน ในด้านต่าง ๆ คือ สีด้านในของทอดมัน กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสูตรปรับปรุงทั้ง 3 สูตร โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส แบบให้คะแนน 9 ระดับ เพื่อได้สูตรที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

ศึกษาคุณภาพทางกายภาพของทอดมันปลา (สูตรทดสอบ) โดยวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ในวันที่ 0 และวันที่ 3 (เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (TA.TX.plus) เมื่อกำหนดสภาวะคือ 100 mm compression platens probe, Measure force in compression, compress 65% strain, test speed 3.00 mm/sec

ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของทอดมันปลาสูตรทดสอบที่เหมาะสมที่สุด เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ในวันที่ 0 และวันที่ 3 (เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส) กับผู้ทดสอบจำนวน 40 คน โดยการให้คะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ คือ สีด้านในของทอดมัน กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสูตรปรับปรุงทั้ง 3 สูตร โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนน 9 ระดับ เพื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาและการยอมรับของผู้บริโภค

ศึกษาอายุการเก็บรักษาของทอดมันปลาเปรียบเทียบระหว่างสูตรทดสอบ (ที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสและแป้งดัดแปร) และสูตรควบ-

คุม โดยวิธีคำนวณจากความสัมพันธ์ของสมการ Arrhenius ในสภาวะเร่ง และนำทอดมันไปเก็บที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทำโดยใช้แผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทั้งในการแปรปริมาณแป้งดัดแปรและแปรปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส มีการวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 3 กลุ่ม ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) หากพบนัยสำคัญทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) (กรณีความแปรปรวนสม่ำเสมอ) หรือ Dunnett's T3 (กรณีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอ) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 กลุ่ม ข้อมูลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้การทดสอบที (*t*–test) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

การศึกษากระบวนการผลิตทอดมันปลาเพื่อกำหนดเป็นสูตรควบคุม

ในการวิจัยนี้กำหนดให้ทอดมันปลาจากร้านมั่นกิจ (ตาราง 1) เป็นสูตรควบคุมหรือสูตรมาตรฐานของทอดมันปลาเพื่อพัฒนาคุณภาพต่อไป โดยมีกระบวนการผลิตคือเตรียมเครื่องผสมให้มีอุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส (โดยใช้น้ำผสมน้ำแข็งบด) จากนั้นใส่น้ำตาล เกลือ ในอัตราส่วนที่กำหนด ตีผสมให้ละลายและตามด้วยพริกแกง โดยใช้ความเร็วระดับต่ำสุดในการผสม (เบอร์ 1) ตีผสมกันประมาณ 3 นาที และใส่เนื้อปลา (ที่ผ่านการบดและแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส) ตีผสมต่ออีกประมาณ 3 นาที จากนั้นใส่ถั่วฝักยาวและใบมะกรูด ปรับความเร็วในการผสมไปที่ระดับสูงสุด (เบอร์ 3) และตีผสมต่ออีก 3 นาที นำทอดมันที่ได้แบ่งใส่ถุง และจัดเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น 4±2 องศาเซลเซียส

ตาราง 1 สูตรมาตรฐานของทอดมันปลา ร้านมั่นกิจ (สูตรควบคุม)

วัตถุดิบ	ร้อยละ
เนื้อปลา (หลายสายพันธุ์)	61.080
พริกแกง	12.784
ถั่วฝักยาว	21.307
ใบมะกรูด	0.426
น้ำตาล	2.983
เกลือ	1.420
รวม	100

การศึกษาชนิดเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทอดมันปลา

ในการศึกษาการแปรชนิดเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 3 ชนิด คือ TG–AK TG–B และ TG–SR–MH ในปริมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเนื้อปลา โดยผสมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสไปพร้อมกับการผสมเกลือและน้ำตาล พบว่า คะแนนของทอดมันปลาสูตร TG–AK สูงสุดในทุกลักษณะ โดยที่คะแนนสีด้านในและกลิ่นรสของทอดมันปลาในสูตร TG–AK ไม่แตกต่างจากสูตร TG–B โดยมีคะแนนเท่ากับ 6.700±0.608 และ 6.575±0.747 ตามลำดับ ($p > 0.05$) สำหรับคะแนนเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมพบว่าสูตร TG–AK มีคะ-

แนนสูงสุดคือ 6.725±0.452 และ 6.925±0.526 ตามลำดับ และมีความแตกต่างจากสูตร TG–B และ TG–SR–MH ($p \leq 0.05$) ดังในตาราง 2 ดังนั้นจากคะแนนที่มากที่สุดของสูตร TG–AK ในทุกลักษณะ จึงเลือกใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK เพื่อศึกษาร่วมกับปริมาณของแป้งดัดแปรต่อไป

ตาราง 1 การศึกษาสูตรทอดมันปลาที่เหมาะสมโดยใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

สูตรทอดมันปลา	สีด้านในของทอดมัน	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
TG-AK	6.700^{a}±0.608	6.575^{a}±0.747	6.725^{a}±0.452	6.925^{a}±0.526
TG-B	6.550^{ab}±1.197	6.450^{ab}±0.504	6.075^{b}±0.267	6.225^{b}±1.074
TG-SR-MH	6.225^{b}±1.165	6.275^{b}±0.452	6.125^{b}±0.992	6.200^{b}±1.043

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

การศึกษาชนิดเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสม และแปรปริมาณแป้งดัดแปรชนิด waxy tapioca modified starch

จากการศึกษาเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ร่วมกับการแปรปริมาณแป้งดัดแปรชนิด waxy tapioca modified starch ในปริมาณร้อยละ 2 3 และ 4 ของน้ำหนักเนื้อปลา พบว่า คะแนนสีด้านในและกลิ่นรสของทอดมันปลา คือ 7.125±0.992 และ 7.159±0.864 ตามลำดับ ($p > 0.05$) และคะแนนด้านกลิ่นรสของสูตรทอดมันปลาที่ใช้แป้งดัดแปรร้อยละ 3 มีค่าสูงสุด และคะแนนกลิ่นรสมีความแตกต่างจากทอดมันปลาสูตรแป้งดัดแปรร้อยละ 4 ($p \leq 0.05$) สำหรับคะแนนเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมพบว่าสูตรทอดมันปลาที่ใช้ปริมาณแป้งดัดแปรร้อยละ 4 มีคะแนนมากที่สุดคือ 7.125±0.791 และ 7.350±0.921 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างจากสูตรทอดมันปลาที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 ($p > 0.05$) ดังในตาราง 3 จากผลการวิจัยจึงเลือกสูตรทอดมันปลาที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรชนิด waxy tapioca modified starch ร้อยละ 3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสและอายุการเก็บรักษาต่อไป

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของทอดมันปลา (สูตรทดสอบ) โดยวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมในวันที่ 0 และวันที่ 3 (เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส) โดยใช้เครื่อง texture analyzer (TA.TX.plus)

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ตาราง 3 การศึกษาสูตรทอดมันปลาที่เหมาะสมโดยใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรปริมาณต่าง ๆ

สูตรทอดมันปลา	สีด้านในของทอดมัน	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
2%	7.075^{a}±0.971	6.950^{ab}±0.714	6.625^{b}±0.490	6.775^{b}±0.920
3%	7.125^{a}±0.992	7.159^{a}±0.864	6.850^{ab}±0.802	7.176^{ab}±1.059
4%	6.925^{a}±0.526	6.700^{b}±0.516	7.125^{a}±0.791	7.350^{a}±0.921

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

ด้านเนื้อสัมผัสในค่าต่าง ๆ พบว่า ความแข็งของสูตรควบคุมมีค่าน้อยที่สุดและแตกต่างจากสูตรทดสอบ ($p \leq 0.05$) ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นทุกสูตรที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร่วมกับแป้งดัดแปรและค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งดัดแปรที่เพิ่มขึ้น ทอดมันปลาในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส) มีค่าความแข็งลดลงทุกสูตรและแตกต่างกันเมื่อเทียบกับทอดมันปลาในวันที่ผลิต (วันที่ 0) ($p \leq 0.05$) คือ ค่าความแข็งมีค่า 18,802.060±1,275.042 กรัม และ 33,294.384±4,765.243 กรัม และค่าความแข็งลดลงเหลือ 15,659.640±1,749.580 กรัม และ 29,427.139±1,579.932 กรัม สำหรับทอดมันปลาสูตรควบคุมและทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรร้อยละ 3 ในวันที่ 3 ตามลำดับ ทอดมันปลาสูตรควบคุมมีค่าความแข็งลดลงจากวันที่ผลิต (วันที่ 0) ร้อยละ 16.713 ขณะที่ทอดมันปลาสูตรทดสอบแป้งดัดแปรร้อยละ 2 ร้อยละ 3 และร้อยละ 4 มีค่าความแข็งลดลงร้อยละ 12.454 11.615 และ 14.619 จะเห็นว่าสูตรทอดมันปลาสูตรที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปร (waxy tapioca modified starch) ร้อยละ 3 มีผลทำให้ค่าความแข็งของทอดมันปลาลดลงน้อยที่สุด (ตาราง 4)

ตาราง 4 เนื้อสัมผัสในด้านต่างๆของสูตรทอดมันปลาที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 (E) ร่วมกับแป้งดัดแปรปริมาณต่างๆ ในวันที่ 0 (Day–0) และวันที่ 3 (Day–3) ของการผลิต

สูตรทอดมันปลา	Hardness (g_f)	Springiness[1]	Cohesiveness[2]	Chewiness (g_f)
Control–Day–0	$18,802.060^{bS}$±1,275.042	0.828^{aS}±0.009	0.488^{bS}±0.012	$7,533.453^{cS}$±594.125
Control–Day–3	$15,659.640^{bS}$±1,749.580	0.790^{cS}±0.027	0.455^{cS}±0.030	$5,741.433^{cS}$±1,102.253
E+2%–Day–0	$32,585.862^{aS}$±4,556.418	0.836^{aNS}±0.038	0.538^{abNS}±0.096	$14,081.780^{bNS}$±2,213.841
E+2%–Day–3	$28,527.690^{bS}$±1,842.296	0.850^{bNS}±0.026	0.590^{bNS}±0.033	$14,263.799^{bNS}$±1,298.460
E+3%–Day–0	$33,294.384^{aS}$±4,765.243	0.824^{aS}±0.032	0.534^{abS}±0.018	$14,696.035^{bS}$±2,622.497
E+3%–Day–3	$29,427.139^{abS}$±1,579.932	0.896^{aS}±0.046	0.644^{aS}±0.028	$16,928.363^{aS}$±1,573.337
E+4%–Day–0	$35,862.337^{aS}$±1,285.609	0.844^{aNS}±0.013	0.564^{aS}±0.025	$17,041.697^{aNS}$±1,158.552
E+4%–Day–3	$30,619.726^{aS}$±1,892.669	0.865^{abNS}±0.025	0.658^{aS}±0.035	$17,441.052^{aNS}$±1,742.542

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันในวันเดียวกัน (Day–0 หรือ Day–3) มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

^{S} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ^{S} ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของสูตรนั้น ๆ (เปรียบเทียบระหว่าง Day–0 กับ Day–3) มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

^{NS} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ^{NS} ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของสูตรนั้น ๆ (เปรียบเทียบระหว่าง Day–0 กับ Day–3) ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

[1]ค่าความยืดหยุ่น (springiness, dimensionless) คืออัตราส่วนการคืนตัวกลับของอาหารเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารก่อนที่จะมีแรงมากระทำ คำนวณจากอัตราส่วนของระยะทางที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 2 (L_2) ต่อระยะทางที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 1 (L_1)

[2]ค่าการเกาะติดกันภายในเนื้ออาหาร (cohesiveness, dimensionless) หรือ คือความแข็งแกร่งของพันธะภายในอาหารที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปได้ถึงระยะทางหนึ่งก่อนที่จะขาดออกจากกัน เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ คำนวณจาก อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่ 2 ($area_2$) ต่อพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่ 1 ($area_1$)

ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ของทอดมันปลาในสูตรควบคุมและสูตรทดสอบมีค่าอยู่ในช่วง 0.824 ถึง 0.844 ในวันที่ 0 และไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ขณะที่ทอดมันปลาในวันที่ 3 ของสูตรควบคุมมีค่าลดลงร้อยละ 4.589 จาก 0.828±0.009 เหลือ 0.790±0.027 และมีความแตกต่างในทอดมันปลาสูตรทดสอบทุกสูตร ($p \leq 0.05$) พบค่าความยืดหยุ่นในวันที่ 3 เพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ร้อยละ 1.647, 8.036 และ 2.428 ในสูตรแป้งดัดแปรร้อยละ 2 3 และ 4 ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างกันในสูตรแป้งดัดแปรร้อยละ 2 และ 4 ($p > 0.05$) ขณะที่สูตรแป้งดัดแปรร้อยละ 3 พบว่าในวันที่ 0 มีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นสูงสุดจาก 0.824±0.032 และในวันที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.896±0.046 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ และมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ดังในตาราง 4

ค่าการเกาะติดกันภายในของเนื้ออาหารหรือค่าการทนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (cohesiveness) พบว่า ในวันที่ 0 สูตรทดสอบทุกสูตรให้ค่ามากกว่าสูตรควบคุม และในวันที่ 3 พบว่าค่าการเกาะติดกันภายในเนื้ออาหารลดลงร้อยละ 6.762 จาก 0.488±0.012 สำหรับสูตรควบคุม ในขณะที่สูตรทดสอบทุกสูตรให้ค่าการเกาะติดกันภายในเนื้ออาหารเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.814 17.081 และ 14.286 จาก 0.538±0.096 0.534±0.018 และ 0.564±0.025 ในทอดมันปลาสูตรแป้งดัดแปรร้อยละ 2 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 ให้ค่าการเกาะติดกันภายในเนื้ออาหารเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเก็บทอดมันปลาที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน โดยค่าความแตกต่างในวันที่ 0 และวันที่ 3 มีความแตกต่างในทุกสูตร ($p \leq 0.05$) ยกเว้นสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 2 ดังในตาราง 4

ค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) พบว่า ทอดมันปลาสูตรควบคุมมีค่าน้อยที่สุดทั้งในวันที่ 0 และวันที่ 3 คือ 7,533.453±594.125 กรัม และลดลงร้อยละ 23.787 เหลือ 5,741.433±1,102.253 กรัม และพบความแตกต่างระหว่างวันที่ 0 และ 3 ($p \leq 0.05$) ขณะที่ทอดมันปลาสูตรทดสอบทั้ง 3 สูตรพบค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 คือ 14,081.780±2,213.841 กรัม 14,696.035±2,622.497 กรัม และ 17,041.697±1,158.552 กรัม และเพิ่มขึ้นมาที่ 14,263.799 ± 1,298.460 กรัม 16,928.363±1,573.337 กรัม และ 17,441.052±1,742.542 กรัม ซึ่งคิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.276 13.187 และ 2.290 ในทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 2 3 และ 4 ตามลำดับ โดยค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวมีค่าสูงสุดในสูตรทอดมันปลาที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 4 รองลงมาคือทอดมันปลาสูตรที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 ทั้งในวันที่ 0 ($p \leq 0.05$) และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ($p > 0.05$)

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของทอดมันปลาสูตรทดสอบที่เหมาะสมที่สุด เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมในวันที่ 0 และวันที่ 3 (เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส)

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 40 คน คะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ คือ สีด้านในของทอดมัน กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า คะแนนสีด้านในของทอดมันสูงที่สุดที่ทอดมันปลาสูตรทดสอบในวันที่

3 ที่คะแนน 7.250±0.840 รองลงมาคือ 7.025±0.733 6.750±0.670 และ 6.275±0.452 สำหรับทอดมันปลาสูตรทดสอบวันที่ 0 ทอดมันปลาสูตรควบคุมวันที่ 0 และทอดมันปลาสูตรควบคุมวันที่ 3 ตามลำดับ โดยแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) สำหรับคะแนนกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า มีแนวโน้มแบบเดียวกัน คือทอดมันปลาสูตรทดสอบในวันที่ 3 ได้รับคะแนนสูงสุด รองมาคือทอดมันปลาสูตรทดสอบในวันที่ 0 ทอดมันปลาสูตรควบคุมในวันที่ 0 และทอดมันปลาสูตรควบคุมในวันที่ 3 ตามลำดับ โดยแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ยกเว้นสูตรทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ระหว่างวันที่ 0 และวันที่ 3 คะแนนทางด้านเนื้อสัมผัสของทอดมันปลาสูตรทดสอบในวันที่ 0 คือ 7.050±0.677 และเพิ่มขึ้นเป็น 7.200±0.516 ในวันที่ 3 ขณะที่ทอดมันปลาสูตรควบคุมได้รับคะแนน 6.225±0.920 และ 4.850±0.864 ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ตามลำดับ เช่นเดียวกับคะแนนด้านความชอบโดยรวมในทอดมันปลาสูตรทดสอบที่ได้คะแนน 7.325±0.797 และ 7.500±0.816 ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ตามลำดับ สำหรับทอดมันปลาสูตรควบคุมคือ 6.200±0.939 และ 5.025±0.698 ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ตามลำดับ โดยทอดมันปลาที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำให้เกิดโครงสร้างของโปรตีนที่แข็งแรงขึ้น เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่เหนียวขึ้น (Internet, 2016; Sungtong *et al*., 2006) ขณะที่แป้งดัดแปรก็ช่วยทำให้เนื้อสัมผัสขึ้นรูปและมีความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น (Rattanasuwan and Radinghin, 2015) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของทอดมันปลาที่ผู้บริโภคชื่นชอบ จึงทำให้ทอดมันปลาสูตรทดสอบได้รับคะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่า (ตาราง 5)

ตาราง 5 คะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรร้อยละ 3 (E+3%) เปรียบเทียบกับทอดมันปลาสูตรควบคุม (control) ในวันที่ 0 และวันที่ 3

สูตรทอดมันปลา	สีด้านในของทอดมัน	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
control–Day–0	6.750^{c}±0.670	6.700^{b}±0.723	6.225^{b}±0.920	6.200^{b}±0.939
control–Day–3	6.275^{d}±0.452	5.200^{c}±0.883	4.850^{c}±0.864	5.025^{c}±0.698
E+3%–Day–0	7.025^{b}±0.733	7.125^{a}±0.822	7.050^{a}±0.677	7.325^{a}±0.797
E+3%–Day–3	7.250^{a}±0.840	7.275^{a}±0.877	7.200^{a}±0.516	7.500^{a}±0.816

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

การศึกษาอายุการเก็บรักษาของทอดมันปลาเปรียบเทียบระหว่างสูตรทดสอบและสูตรควบคุมโดยวิธีการคำนวณในสภาวะเร่ง

จากการคำนวณอายุการเก็บรักษา (ที่ 4 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์ทอดมันปลาสูตรควบคุมและทอดมันปลาสูตรทดสอบทั้ง 3 สูตร โดยวิธีคำนวณจากความสัมพันธ์ของสมการ Arrhenius ในสภาวะเร่ง พบว่า ค่าเฉลี่ยอายุการเก็บของทอดมันปลาสูตรควบคุมคือ 2.964±0.218 วัน และมีความแตกต่างจากทอดมันปลาสูตรทดสอบทุกสูตร ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีปริมาณแป้งดัดแปรเพิ่มขึ้น มีอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น คือ มีอายุการเก็บจากการคำนวณ 6.163±0.210 7.438±0.359 และ 7.852±

0.222 วันสำหรับทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 2 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งสูตรทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 3 และร้อยละ 4 ไม่พบความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังในตาราง 6

ตาราง 6 อายุการเก็บรักษาทอดมันปลาสูตรควบคุม (control) และทอดมันปลาสูตรทดสอบที่ใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 (E) ร่วมกับแป้งดัดแปรปริมาณต่าง ๆ

สูตรทอดมันปลา	อายุการเก็บ (วัน)
control	2.964^{c}±0.218
E+2%	6.163^{b}±0.210
E+3%	7.438^{a}±0.359
E+4%	7.852^{a}±0.222

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

อภิปรายผลการวิจัย

ปริมาณของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ใช้ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพทอดมันปลาคือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเนื้อปลา ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ Sungtong *et al*. (2006) ศึกษาว่าสามารถลดการแตกร้าวของอกไก่รูปลูกเต๋าแช่เยือกแข็งลงถึงร้อยละ 25.84 และจากงานวิจัยของ Cardoso *et al*. (2009) ที่ศึกษาการใช้ใยอาหาร (เส้นใยภายในของถั่วร่วมกับอินูลินของรากชิโครี ร้อยละ 2 และร้อยละ 4 ร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 สามารถพัฒนาคุณภาพของซูริมิปลาแมกเคอเรลเช่นเดียวกับ Wongthahan and Thawornchinsombat (2013) ที่ศึกษาว่าความเข้มข้นเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ร่วมกับสารปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสอื่น ๆ ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปดีกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) และมีความคงตัวการแช่แข็ง–ละลายไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม และจากการศึกษาชนิดของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 3 ชนิด คือ TG–AK TG–B และ TG–SR–MH พบว่าเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ได้รับคะแนนสูงสุดในทุกลักษณะจากกลุ่มผู้บริโภคที่ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส แต่จากลักษณะเด่นของทอดมันปลาคือด้านเนื้อสัมผัส พบว่าทอดมันปลาที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทั้ง 3 ชนิด มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากคืออยู่ในช่วงคะแนน 6.075 ถึง 6.725 ซึ่งเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำหน้าที่ทำให้เกิดโครงสร้างของโปรตีนที่แข็งแรงขึ้น โดยการกระตุ้นให้สร้างพันธะโคเวเลนต์ระหว่างกรดอะมิโนสองชนิด คือ กลูตามีน (glutamine) และไลซีน (lysine) มีผลทำให้เนื้อปลาที่มีขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นเนื้อชิ้นใหญ่ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส โดยมักนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ซูริมิเพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้เนื้อสัมผัสที่เหนียวขึ้น และเพิ่มผลิตผลที่ได้จากการแปรรูป ซึ่งประสิทธิภาพของโครงสร้างโปรตีนนั้นอาจมีความแตกต่างกันขึ้นกับวัตถุดิบหลักที่ใช้ (Internet, 2016) และยังสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลายเช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ (Kieliszek and Blazejak, 2016)

การศึกษาปริมาณแป้งดัดแปร (waxy tapioca modified starch) ร้อยละ 2 3 และ 4 ร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเนื้อปลา พบว่า การใช้แป้งดัดแปรร้อยละ 3 ได้รับคะแนนจากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นรสสูงสุด ขณะ

ที่ด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมได้คะแนนรองจากสูตรทอดมันปลาที่มีแป้งดัดแปรร้อยละ 4 แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งทอดมันปลาสูตรที่ใช้แป้งดัดแปรร้อยละ 3 นี้ยังให้ค่าในด้านต่าง ๆ จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสได้ดีที่สุด คือ ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cardoso *et al*. (2009) ที่พบว่าค่าความแข็งของซูริมิปลาแมกเคอเรลเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 60 เมื่อมีการใช้ใยอาหาร (เส้นใยภายในของถั่วร่วมกับอินูลินของรากชิโครีร้อยละ 2 และร้อยละ 4 ร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 และเมื่อเก็บรักษาพบว่าทอดมันปลาสูตรที่ใช้แป้งดัดแปรร้อยละ 3 มีค่าความแข็งลดลงน้อยที่สุด และสำหรับค่าความยืดหยุ่น ค่าการเกาะติดกันภายในเนื้ออาหาร และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thongsila and Huangrak (2013) ที่พบว่าการใช้ไดสตาร์ชฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 3 ร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส มีผลในการเพิ่มความคงตัวในการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งของแผ่นเกี๊ยว และได้คะแนนความชอบโดยรวมของแผ่นเกี๊ยวหลังแช่เยือกแข็งได้คะแนนไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cardoso *et al*. (2009) ที่พบว่าการเกาะติดกันภายในของเนื้ออาหาร หรือค่าการทนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีค่าเพิ่มขึ้น และความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น ในผลิตภัณฑ์เจลซูริมิปลาแมกเคอเรล เมื่อมีการใช้ใยอาหาร (เส้นใยภายในของถั่วร่วมกับอินูลินของรากชิโครีร้อยละ 2 และร้อยละ 4) ร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang *et al.* (2013) ที่ศึกษาผลของแป้งต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของเจลในซูริมิเนื้อที่ขึ้นรูปด้วยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส พบว่า การใช้ปริมาณของแป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลังในความเข้มข้นร้อยละ 3 ส่งผลให้ซูริมิเนื้อมีความแข็งแรงของเจลสูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรที่ใช้แป้งความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 9 เนื่องจากการใช้ปริมาณแป้งที่มากเกินไปทำให้ความแข็งแรงของเจลของซูริมิเนื้อลดลง

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมกับผู้ทดสอบจำนวน 40 คน โดยการให้คะแนนความชอบด้านสีด้านในกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของทอดมัน พบว่า คะแนนกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีแนวโน้มในทางเดียวกันคือสูตรทดสอบในวันที่ 3 มีคะแนนสูงสุด โดยที่แต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ยกเว้นสูตรทดสอบที่ไม่แตกต่างกันระหว่างวันที่ 0 และวันที่ 3 ($p > 0.05$) สำหรับคะแนนทางด้านเนื้อสัมผัสของสูตรทดสอบในวันที่ 0 คือ 7.050±0.677 และเพิ่มขึ้นเป็น 7.200±0.516 ในวันที่ 3 ขณะที่สูตรควบคุมได้รับคะแนน 6.225±0.920 และ 4.850±0.864 ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ตามลำดับ คะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสนี้สอดคล้องกับค่าการวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัสที่สูตรทดสอบให้ ค่าความยืดหยุ่น ค่าการเกาะติดกันภายในของเนื้ออาหาร และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดในสูตรทดสอบ

ทอดมันปลาสูตรที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 3 สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศา

เซลเซียสได้ประมาณ 7 วันจากการคำนวณ เมื่อเทียบกับทอดมันปลาสูตรควบคุมที่สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 2 วันจากการคำนวณ ซึ่งใกล้เคียงกับระยะเวลาการเก็บรักษาจริงที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียสที่สามารถเก็บได้นาน 9 วัน และ 2 วัน สำหรับทอดมันปลาสูตรปรับปรุงคุณภาพและทอดมันปลาสูตรควบคุมตามลำดับ เนื่องจากทอดมันปลาสูตรปรับปรุงคุณภาพนั้นมีเนื้อสัมผัสที่เกาะตัวกันได้ดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น จึงเป็นผลให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถปั้นเป็นก้อนได้ง่าย ไม่ร่วนซุยตามอายุการเก็บเหมือนกับทอดมันปลาสูตรควบคุม

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพทอดมันปลาจากปลาหลากหลายสายพันธุ์ พบว่า การใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG–AK ในความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเนื้อปลาร่วมกับแป้งดัดแปรที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 มีคะแนนจากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสสูงสุดในด้านสีและกลิ่นรส และให้ค่าในด้านต่าง ๆ จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสได้ดีที่สุด คือ ค่าความแข็งลดลงน้อยที่สุด และค่าความยืดหยุ่น ค่าการเกาะติดกันภายในเนื้ออาหาร และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของทอดมันปลาสูตรทดสอบที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า สูตรทดสอบในวันที่ 3 มีคะแนนสูงสุด

ทอดมันปลาสูตรที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสชนิด TG-AK ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ร่วมกับแป้งดัดแปรเข้มข้นร้อยละ 3 สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้ประมาณ 7 วันจากการคำนวณ เมื่อเทียบกับทอดมันปลาสูตรควบคุมที่สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 2 วันจากการคำนวณ ใกล้เคียงกับระยะเวลาการเก็บรักษาจริงที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ที่สามารถเก็บได้นาน 9 วัน และ 2 วัน สำหรับทอดมันปลาสูตรปรับปรุงคุณภาพและทอดมันปลาสูตรควบคุมตามลำดับ จากงานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะให้ศึกษาปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร่วมกับแป้งดัดแปรในอัตราส่วนต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพทอดมันปลาแช่เยือกแข็งในการเพิ่มความคงตัวในการคืนรูปเพื่อวัตถุประสงค์ในการส่งออกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา ร่วมกับแพปลาเข็มทอง ร้านมั่นกิจ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารอ้างอิง

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. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 89(10): 1648–1658.

Cardoso, C., Ribeiro, B., and Mendes, R. (2012). Effects of dietary fibre and microbial transglutaminase addition on the rheological and textural properties of protein gels from different fish species. **Journal of Food Engineering** 113(4): 520–526.

Huang, W. N., Yuan, Y. L., Kim, Y. S., and Chung, O. K. (2008). Effects of Transglutaminase on rheology, microstructure, and baking properties of frozen dough. **Cereal Chemistry Journal** 85(3): 301–306.

Internet. (2016). **Transglutaminase in Food Industry**. Retrieved from http://www.vicchienterprise.com/transglutaminase.html, September 29, 2019. (in Thai)

Israkarn, K. (2005). **Effects of addition modified starches and hydrocolloids on quality of frozen rice noodles**. Retrieved from http://newtdc.thailis.or.th/docview.aspx?tdcid=164793, September 11, 2019. (in Thai)

Kapunsit, W., and Leksawas, N. (n.d.). **Transglutaminase enzyme**. Retrieved from http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/57/57-027.pdf, September 22, 2019. (in Thai)

Kieliszek, M., and Blazejak, S. (2016). **Microbial transglutaminase and applications in food industry**. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/314229198_Microbial_transglutaminase_and_applications_in_food_industry, September 12, 2019.

Limroongreungrat, K., Prasitkhetkit, N., and Suksomboon, A. (2011). Effect of transglutaminase on quality of noodle added with Moringa leaves powder. **Agricultural Science Journal** 42(2): 497–500. (in Thai)

Rattanasuwan, S., and Radinghin, K. (2015). Effect of modified starch on quality of frozen *Barbonymus gonionotus* paste. **Research Journal Phranakhon Rajabhat: Science and Technology** 10(2): 96–108.

Sungtong, P., Chaiwanichsiri, S., Ruangtrakool, B., Suzuki, T., Takai, R., and Tantratian, S. (2006). Effect of phosphate salts and transglutaminase in prevention of freeze cracking in frozen diced broiler breast. **Journal of Food Process Engineering** 29(2): 174–187.

Thai community product standard. (2005). **Fish cake**. Retrieved from http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1035_48.pdf, September 12, 2019. (in Thai)

Thongsila, N., and Huangrak, K. (2013). Using of di–starch phosphate and transglutaminase to increase freeze–thaw stability of wonton sheet. **King Mongkut's Agricultural Journal** 31(2): 17–26. (in Thai)

Wongthahan, P., and Thawornchinsombat, S. (2013). **Production of Healthy Fish Patties Made from By–products of Nile Tilapia Processing Using Texturizing Additives**. Retrieved from https://gsbooks.gs.kku.ac.th/56/grc14/files/bmo5.pdf, September 29, 2019. (in Thai)

Zhang, F., Fang, L., Wang, C., Shi, L., Chang, T., Yang, H., and Cui, M. (2013). Effects of starches on the textural, rheological, and color properties of surimi–beef gels with microbial transglutaminase. **Meat Science** 93(3): 533–537.