

ผลของการใช้แป้งควินัวแทนที่แป้งสาลีเสริมผงขมิ้นชั้นต่อ สมบัติของนั้กเกิดปลา

Effect of Wheat Flour Substitution with Quinoa Flour fortified with Turmeric Powder on Fish Nugget Properties

ภัทธีรา สาขะมุติ*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต

และศูนย์แห่งความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมทางอาหาร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

วารางคณา สมพงษ์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต

Phatthira Sakamut*

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

Thammasat University, Rangsit Center

and Thammasat University Center of Excellence in Food Science and Innovation.

Warangkana Sompongse

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

Thammasat University, Rangsit Center

Received: October 1, 2021 ; Accepted: May 25, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแป้งชุบทอดให้มีส่วนผสมของแป้งสาลีน้อยที่สุดโดยการทดแทนด้วยแป้งควินัวและเสริมด้วยขมิ้นชั้น โดยศึกษาผลของการใช้แป้งควินัวแทนที่แป้งสาลี (ร้อยละ 50-100) และปริมาณของผงขมิ้น (ร้อยละ 5-15) ที่เหมาะสมในแป้งชุบทอดต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของนั้กเกิดปลา ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งควินัว ส่งผลให้ความหนืดของแป้งชุบทอดมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า L^* และ b^* ของชั้นแป้งชุบทอดมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) แป้งชุบทอดที่แทนที่ด้วยแป้งควินัวร้อยละ 50 มีค่าร้อยละหลังการปรุงสุกและลักษณะทางเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) จึงเลือกแป้งชุบทอดที่แทนที่ด้วยแป้งควินัวร้อยละ 50 มาศึกษาปริมาณของผงขมิ้นที่เหมาะสมในแป้งชุบทอด พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงขมิ้น ส่งผลให้ค่า hardness, gumminess และ chewiness มีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ชั้นแป้งชุบทอดมีค่า L^* ลดลง เนื้อชั้นในมีค่าความขาวลดลง แต่มีค่าร้อยละการสูญเสียหลังการปรุงสุกมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม การเติมผงขมิ้น

ร้อยละ 5 ส่งผลให้ค่าความหนืดไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ค่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันลดลงร้อยละ 7.94 และค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH เพิ่มขึ้นร้อยละ 36.87

คำสำคัญ : นักเก็ตปลา; แป้งควินัว; ผงขมิ้น

Abstract

The objective of this study was to develop a batter with the minimal possibility of wheat flour replacement with quinoa flour and fortification with turmeric powder. The investigation of the effect of wheat flour substitution with quinoa flour (50-100%) and the optimum of turmeric powder (5-15%) in fried batter on physical and chemical properties of fish nuggets was studied. The results showed that the increasing substitution level of quinoa flour exhibited higher viscosity of batter, but lower values of L^* and b^* in fried batter ($p < 0.05$), as compared to control (0%). The cooking loss value and the textural characteristics of the sample with quinoa flour-blended fried batter at 50% were not significantly different from that of the control ($p > 0.05$). Therefore, quinoa flour-blended fried batter at 50% substitution was selected to further investigate the optimum of turmeric powder level in fried batter. The result presented that the hardness, gumminess and chewiness increased as the turmeric powder level increased ($p < 0.05$). The sample with turmeric powder-blended fried batter showed significantly lower L^* value in fried batter and whiteness in mince, but higher in cooking loss, compared to the control. No significantly different was found in viscosity between sample with turmeric powder-blended fried batter at 5% and control ($p > 0.05$). At this level, the lipid oxidation value of sample was decreased by 7.94% and the DPPH radical scavenging percentage was increased by 36.87%.

Keywords: Fish nugget; Quinoa flour; Turmeric powder

1. บทนำ

นักเก็ต (nugget) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยนำเนื้อสัตว์มาตัดเป็นชิ้นคลุกกับส่วนผสมต่างๆ หรือบดผสมกับส่วนผสมต่างๆ เช่น แป้งทอดกรอบ เพื่อเพิ่มกลิ่นรสให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากนั้นนำไปชุบกับแป้งชุบทอดและขนมปังป่น เก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง ก่อนบริโภคนำไปทอดในน้ำมันจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองกรอบน่ารับประทาน (Phongpugdee, 2003) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์นักเก็ตเป็นที่รู้จักของผู้บริโภคมากขึ้น โดยนักเก็ตที่มีจำหน่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่จะผลิตจากเนื้อไก่

(Supaviriyakorn, 2010) การนำซูริมีที่เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสดล้างน้ำซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต จึงน่าจะเป็นทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภคมากขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มความหลากหลายให้แก่ผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม ส่วนประกอบหลักของแป้งชุบทอด ส่วนมากนิยมใช้แป้งสาลีเป็นส่วนประกอบสำคัญ จึงทำให้ผู้บริโภคบางกลุ่มซึ่งเป็นโรคแพ้อาหารไม่สามารถรับประทานได้ งานวิจัยจำนวนมากจึงได้มีความพยายามในการศึกษาการใช้แป้งจากพืชในกลุ่ม

Pseudocereal ได้แก่ เมล็ดผักโขม บัควีค และควินัว ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และเนื้อสัตว์แปรรูป (Alencar, Steel, Alvim, de Moraes, & Bolini, 2015; Verma, Rajkumar, & Kumar, 2019)

ควินัวอยู่ในสปีชีส์ที่ใกล้เคียงกับหัวบีทและผักปวยเล้ง ควินัวเป็นพืชที่มีสารอาหารสูงมาก เมล็ดควินัวดิบปริมาณ 100 กรัม ประกอบด้วยไขมันทั้งหมด 6.1 กรัม โคเลสเตอรอล 0 กรัม โพแทสเซียม 563 มิลลิกรัม เส้นใย 7 กรัม โปรตีน 14.1 กรัม แคลเซียม 47 มิลลิกรัม เหล็ก 46 มิลลิกรัม วิตามินบี 6 0.5 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 197 มิลลิกรัม (Lerschoonhakieat, 2014) สารประกอบฟีนอลิกหลักที่พบ ได้แก่ กรดเฟอร์ริก (ferulic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดคูมาริก (*p*-coumaric acid) และกรดเบนโซอิก (benzoic acid) และสารฟลาโวนอยด์ที่พบ ได้แก่ kaempferol, myricetin, และ quercetin (Verma *et al.*, 2019) จากงานวิจัยของ Verma *et al.* (2019) ที่ศึกษาผลของแป้งจากเมล็ดผักโขมและเมล็ดควินัวต่อสมบัติทางรีโอโลยีและสมบัติทางเคมีกายภาพของนักเก็ตเนื้อแพะ พบว่า ตัวอย่างที่ประกอบด้วยแป้งเมล็ดควินัวร้อยละ 1.5 และแป้งสาลีขัดสีร้อยละ 1.5 (แป้งเมล็ดควินัวแทนที่แป้งสาลีร้อยละ 50) มีคะแนนความชุ่มน้ำสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และมีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงอย่างมีนัยสำคัญ

ขมิ้นชันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Curcuma longa* Linn. เป็นสมุนไพรที่มีกลุ่มของสารต้านอนุมูล-อิสระที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก เช่น polyphenol สารสกัดขมิ้น นอกจากมีหน้าที่ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร ยังมีบทบาทในการป้องกันโรคต่างๆ ที่เกิดจากจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย เช่น โรคหัวใจ โรค

หลอดเลือดหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น (Halee and Rattanapun, 2017)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้แป้งควินัวแทนที่แป้งสาลีในแป้งชุบทอดและผลของการเติมผงขมิ้นในแป้งชุบทอดเพื่อยับยั้งการเกิดออกซิเดชันต่อสมบัติของนักเก็ตปลา

2. วิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

ซูริมปลาทูแดงแช่เยือกแข็งเกรด A จากบริษัท แมนเอโฟรเซนฟู้ดส์ จำกัด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 ± 2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้เครื่องปรุงรส ได้แก่ เกลือ น้ำตาล ซีอิ๊วขาว ผงกระเทียม พริกไทยขาวป่น จากแมคโคร จังหวัดปทุมธานี แป้งสาลีอเนกประสงค์ จากบริษัท ยูเอฟ เอ็มฟู้ดเซนเตอร์ จำกัด และเมล็ดควินัว จากร้านโครงการหลวง

2.2 ศึกษาปริมาณแป้งควินัวที่เหมาะสมในแป้งชุบทอดต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์นักเก็ตปลา

2.2.1 การเตรียมแป้งควินัว

ล้างเมล็ดควินัวด้วยน้ำสะอาดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นบดเมล็ดควินัวอบแห้งด้วยเครื่องบดผงละเอียด (ยี่ห้อ Nanotect รุ่น NT-500D) นำไปร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้แป้งขนาด 0.5 ไมครอน บรรจุแป้งควินัวในถุงชนิด PET และปิดผนึกแบบสุญญากาศสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป

2.2.2 การเตรียมแป้งชุบทอด

ผสมแป้งสาลี แป้งควินัว และน้ำ ในอัตราส่วนแป้ง : น้ำเท่ากับ 1.25:1 (Supaviriyakom, 2010)

2.2.3 การวัดความหนืดของแป้งชุบทอด

เตรียมแป้งชุบทอดตั้งรายละเอียดในข้อ 2.2.2 จากนั้นวัดค่าความหนืดของตัวอย่างด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (ยี่ห้อ Brookfield Engineering laboratories Inc รุ่น DV-II+ ประเทศสหรัฐอเมริกา) หัวเข็มเบอร์ sc4-28 ควคุมตัวอย่างให้มีอุณหภูมิตลอดการวัดที่ 25 องศาเซลเซียส บันทึกค่า torque (%), shear rate (sec^{-1}) และ shear stress (mPa) ที่แต่ละระดับความเร็วรอบ ทำการวัดค่า 3 ซ้ำ คำนวณและรายงานค่าความหนืด (shear stress/ shear rate, cP) ของตัวอย่างที่ shear rate เท่ากับ 1.4 sec^{-1}

2.2.4 การผลิตนักเก็ตปลา

ละลายซูริมีที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส จากนั้นหั่นให้มีขนาด $1 \times 1 \times 1$ เซนติเมตร สับผสมซูริมีร้อยละ 81 กับเกล็ดร้อยละ 1.5 จากนั้นเติมเครื่องปรุงอื่นๆ ได้แก่ น้ำตาลร้อยละ 1.5 ผงกระเทียมร้อยละ 2.5 พริกไทยขาวป่นร้อยละ 0.5 ซีอิ้วขาวร้อยละ 3 และเติมน้ำแข็งร้อยละ 10 (Phongpugdee, 2003) ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน จากนั้นชั่งน้ำหนักส่วนผสมมวลเหนียวชั้นละ 15 ± 2 กรัม นำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์วงรี และนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชุบแป้งชุบทอดที่เตรียมไว้ แปรรูปปริมาณแบ่งควินว 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักแป้งสาลี จากนั้นคลุกเกล็ดขนมปัง และแช่เยือกแข็งตัวอย่างที่อุณหภูมิ -18 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ด้วยเครื่องทอด (ยี่ห้อ Fry King รุ่น FR-18-Silver ประเทศไทย)

2.2.5 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

ตัดตัวอย่างให้มีขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ เซนติเมตร วิเคราะห์ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้วิธี Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XT2i ประเทศไทย) ใช้หัววัด compression platen

ขนาด 50 mm. (P50) รายงานค่า hardness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness (Kitcharoenthawornchai and Harnsilawat, 2015)

2.2.6 ค่าสี ($L^*a^*b^*$) และค่าความขาว

ตัดตัวอย่างให้มีขนาด $3.3 \times 2 \times 1$ เซนติเมตร วัดค่าสี ($L^*a^*b^*$) ของชั้นแป้งชุบทอดและค่าความขาวของเนื้อชั้นในนักเก็ตปลา นำตัวอย่างวางบนถ้วยสำหรับวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter (ยี่ห้อ Colorflex รุ่น Colorflex 45/0 ประเทศสหรัฐอเมริกา) รายงานผลค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของชั้นแป้งชุบทอดสำหรับค่าความขาวของเนื้อชั้นในนักเก็ตปลา คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้ คือ ความขาว = $100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$ (Sakamut and Sajjabut, 2021)

2.2.7 การสูญเสียระหว่างการปรุงสุก

ตัดตัวอย่างให้มีขนาด $3.3 \times 5.5 \times 1$ เซนติเมตร จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อน (W1) และหลัง (W2) การทอด คำนวณการสูญเสียระหว่างการปรุงสุกตามวิธีการของ Baliga and Madaiah (1970)

2.2.8 การวิเคราะห์ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)

วิเคราะห์ปริมาณ TBARS ของตัวอย่างตามวิธีการของ AOAC (2000)

2.2.9 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างด้วยวิธี

Duncan's New Multiple Range Test วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

2.3 ศึกษาปริมาณผงขมิ้นที่เหมาะสมในแป้งชุบทอดต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์นักเก็ตปลา

เตรียมแป้งชุบทอดและผลิตภัณฑ์นักเก็ตปลาตามสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจากการศึกษาในข้อที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ ศึกษาปริมาณผงขมิ้นที่เหมาะสมในแป้งชุบทอดของผลิตภัณฑ์นักเก็ตปลาโดยแปรปริมาณผงขมิ้น 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักแป้งชุบทอด

2.3.1 การเตรียมแป้งชุบทอด

ผสมแป้งสาลี แป้งคั่วข้าว ผงขมิ้น และน้ำ ในอัตราส่วนแบ่ง : น้ำ เท่ากับ 1.25:1

2.3.2 การวัดความหนืดของแป้งชุบทอด

วัดค่าความหนืดของแป้งชุบทอดที่เตรียมตามวิธีในข้อ 2.3.1 ตามวิธีการที่รายงานในข้อ 2.2.3 รายงานค่าความหนืด (shear stress/ shear rate, cP) ที่ shear rate เท่ากับ 0.28 sec^{-1}

2.3.3 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ค่าทางลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้วิธี TPA ตามวิธีการในข้อ 2.2.5

2.3.4 ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ของชิ้นแป้งชุบทอดและคำนวณค่าความขาวของเนื้อชิ้นในนักเก็ตปลาตามวิธีการในข้อ 2.2.6

2.3.5 การสูญเสียระหว่างการปรุงสุก

วิเคราะห์ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการปรุงสุก ตามวิธีการในข้อ 2.2.7

2.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)

วิเคราะห์ปริมาณ TBARS ตามวิธีการของ AOAC (2000) ตามวิธีการในข้อ 2.2.8

2.3.7 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

นำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ตามวิธีการของ Manok and Limcharoen (2015)

2.3.8 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ศึกษาปริมาณแป้งคั่วข้าวที่เหมาะสมในแป้งชุบทอดต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์นักเก็ตปลา

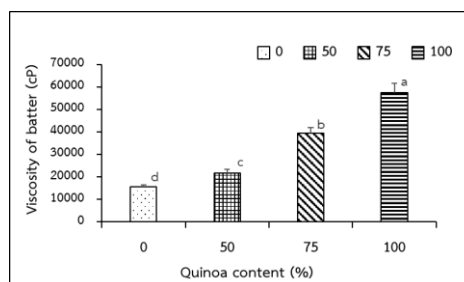


Figure 1 Effect of wheat flour substitution with quinoa flour on viscosity of batter Different letters on each bar indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

3.1.1 ความหนืดของแป้งชูบทอด

จากการนำแป้งคิวนัวแทนที่แป้งสาลี 4 ระดับ ในแป้งชูบทอด ได้แก่ ร้อยละ 0, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักแป้งสาลี พบว่า ปริมาณแป้งคิวนัวมีผลต่อค่าความหนืดของแป้งชูบทอด (Figure 1) การเติมแป้งคิวนัวส่งผลให้แป้งชูบทอดมีค่าความหนืดมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งคิวนัวแทนที่แป้งสาลีมาก

ขึ้น ค่าความหนืดของแป้งชูบทอดมีค่ามากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของแป้ง พบว่า แป้งคิวนัวมีปริมาณอะไมโลส (amylose) ร้อยละ 9.43-10.90 แต่มีปริมาณอะไมโลเพคติน (amylopectin) สูง (Park, Lee, Lim, Jeon, & Yoon, 2021) ขณะที่แป้งสาลีมีปริมาณ อะไมโลสประมาณ ร้อยละ 21.96 (Hellemans *et al.*, 2020) โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเป็นเจลที่มีความหนืดมากกว่า

Table 1 Effect of wheat flour substitution with quinoa flour on textural properties of fish nugget

Quinoa content (%)	Hardness (g)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness (g/mm)
0	3235.24 ^a ±664.42	0.877 ^{ab} ±0.03	0.707 ^a ±0.02	2285.60 ^a ±474.87	2003.68 ^a ±418.85
50	2960.96 ^{ab} ±293.81	0.888 ^a ±0.04	0.697 ^{ab} ±0.04	2059.42 ^{ab} ±178.35	1828.55 ^a ±179.14
75	2715.85 ^b ±331.46	0.841 ^{bc} ±0.04	0.673 ^b ±0.05	1830.43 ^{bc} ±292.79	1540.59 ^b ±266.51
100	2343.31 ^c ±123.54	0.850 ^{bc} ±0.05	0.683 ^b ±0.05	1598.45 ^c ±134.02	1361.15 ^b ±170.30

Different letters in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

3.1.2 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของนักเก็ตปลา

Table 1 แสดงค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของนักเก็ตปลาที่มีการแทนที่แป้งคิวนัวปริมาณต่างๆ ในแป้งชูบทอด พบว่า ปริมาณแป้งคิวนัวมีผลต่อค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง เมื่อเติมแป้งคิวนัวในแป้งชูบทอดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ได้แก่ hardness, springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลง โดยค่า hardness แสดงถึงค่าความแข็งของตัวอย่าง springiness แสดงถึงอัตราการคืนรูปของตัวอย่างหลังถูกกด

cohesiveness แสดงถึงขอบเขตของตัวอย่างที่สามารถเสียรูปก่อนเกิดการแตกหัก gumminess แสดงถึงแรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่มีลักษณะกึ่งแข็งจนกระทั่งเสียรูป และ chewiness แสดงถึงแรงที่ใช้ในการบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป (Sirilert, 2007) จากผลการทดลอง การเติมแป้งคิวนัวแทนที่แป้งสาลีร้อยละ 75 ส่งผลให้ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ มีค่าลดลงจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นค่า springiness ที่ตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) เนื่องจากปริมาณอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินส่งผลต่อเนื้อ

สัมผัสของแป้งชุบทอด การเพิ่มปริมาณอะไมโลเพคตินหรือลดปริมาณอะไมโลสในแป้ง ส่งผลให้ค่าความแข็งของแป้งลดลง ทำให้มีความนุ่มมากขึ้น ทั้งนี้ ความแข็งของแป้งชุบทอดเป็นผลจากการจับกันของพอลิแซ็กคาไรด์กับพอลิแซ็กคาไรด์กับน้ำ พอลิแซ็กคาไรด์กับน้ำมัน และพอลิแซ็กคาไรด์กับโปรตีน โครงสร้างของอะไมโลเพคตินที่จับน้ำไว้ได้มาก จึงส่งผลให้แป้งมีความนุ่ม (Kitrongrote, Prodpran, Posri, & Benjakul, 2009) การลดปริมาณของแป้งสาลีที่มีปริมาณอะไมโลสสูงลง จึงส่งผลให้แป้งมีความแข็งลดลง อีกทั้งการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งควินัวส่งผลให้ปริมาณกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนในแป้งสาลีที่มี

บทบาทสำคัญต่อความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของโครงสร้างตัวอย่างลดลง จึงอาจส่งผลต่อความยืดหยุ่น และการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ของตัวอย่างที่มีการเติมแป้งควินัวเพิ่มขึ้น จึงมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Verna *et al.* (2019) ที่ศึกษาผลของแป้งจากเมล็ดฝักโขมและเมล็ดควินัวต่อสมบัติทางรีโอโลยีและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งชุบทอดในนักเก็ตเนื้อแพะ พบว่า ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เติมแป้งเมล็ดฝักโขม และแป้งเมล็ด ควินัวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

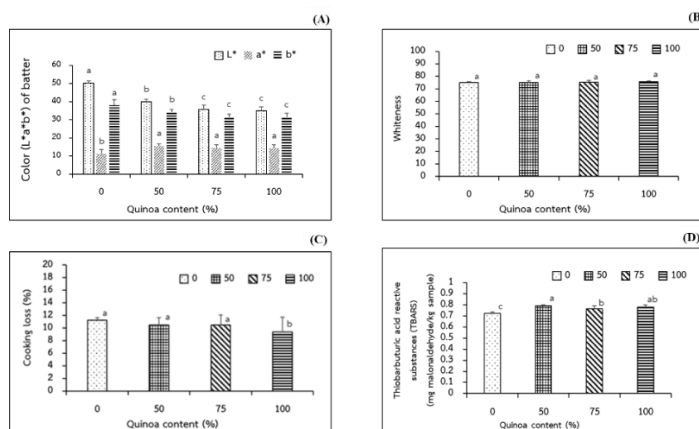


Figure 2 Effect of wheat flour substitution with quinoa flour on color ($L^*a^*b^*$) of batter (A), whiteness (B), cooking loss (C) and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) of fish nugget (D) Different letters on each bar indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

3.1.3 ค่าสี ($L^*a^*b^*$) ของชั้นแป้งชุบทอดและค่าความขาวของเนื้อชั้นในนักเก็ตปลา

ค่าสี ($L^*a^*b^*$) ของชั้นแป้งชุบทอดและค่าความขาวของเนื้อชั้นในนักเก็ตปลาที่มีการแทนที่แป้งควินัวปริมาณต่างๆ ในแป้งชุบทอดแสดงใน Figure 2 จากการศึกษาค่าสีของชั้นแป้งชุบทอด (Figure 2A) พบว่า การเติมแป้งควินัวเป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มี

แนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) แต่ค่าสีแดง (a^*) มีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุม (ร้อยละ 0) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีของแป้งสาลีและแป้งควินัว (ไม่แสดงข้อมูล) เนื่องจากเมล็ดควินัวมีเม็ดสี betacyanin เป็นองค์ประกอบ (Tang and Tsao, 2017) ที่ให้สีม่วงแดง จึงทำให้มีสีเข้มกว่าแป้งสาลี อีกทั้งแป้งสาลีอเนกประสงค์ผ่านการขัดสี จึงทำให้แป้งมีสีขาวขึ้น สำหรับค่าความขาวของเนื้อชั้นใน

นักเกิดปลา (Figure 2B) พบว่า การเติมแ่งควินัวแทนที่แ่งสาลิไม่ส่งผลต่อค่าความขาวของของเนื้อชั้นในนักเกิดปลา ($p>0.05$)

3.1.4 ค่าการสูญเสียระหว่างปรุงสุกของนักเกิดปลา

ค่าการสูญเสียระหว่างปรุงสุกของนักเกิดปลาที่มีการแทนที่แ่งควินัวปริมาณต่างๆ ในแ่งซุบทอดแสดงใน Figure 2C พบว่า เมื่อเติมแ่งควินัวในแ่งซุบทอดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละการสูญเสียระหว่างปรุงสุกของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง โดยตัวอย่างที่มีการแทนที่แ่งสาลิด้วยแ่งควินัวร้อยละ 100 มีค่าลดลงจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ค่าการสูญเสียระหว่างปรุงสุกของนักเกิดปลาอาจเป็นผลมาจากการดูดซับน้ำมันของแ่งซุบทอดและการสูญเสียของส่วนผสมมวลเหี่ยวระหว่างกระบวนการผลิต โดยปริมาณน้ำส่งผลโดยตรงต่อการดูดซับน้ำมัน แ่งซุบทอดที่มีปริมาณน้ำน้อย หรือมีความหนืดสูง จะส่งผลให้แ่งซุบทอดสูญเสียความชื้นในระหว่างการทอดต่ำ เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนน้อย เกิดการดูดซับน้ำมันลดลง (Shukla, 1993) นอกจากนี้ แ่งซุบทอดที่มีความหนืดสูง ทำให้เกิดการดูดซับระหว่างแ่งซุบทอดที่มีลักษณะเหลวกับส่วนผสมมวลเหี่ยวมีค่าเพิ่มขึ้น จึงเกิดการสูญเสียของตัวอย่างลดลง (Tamsen *et al.*, 2018) ทั้งนี้ แ่งควินัวมีความสามารถในการดูดซับน้ำและพองตัว ตัวอย่างที่ใช้แ่งซุบทอดที่มีส่วนผสมของแ่งควินัวมากขึ้น จึงเกิดการดูดซับระหว่างแ่งซุบทอดกับส่วนผสมมวลเหี่ยวมากกว่า ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการทอดลดลง

3.1.5 ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ของนักเกิดปลา

พิจารณาค่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันของนักเกิดปลาจากวิเคราะห์ปริมาณ TBARS แสดงใน Figure 2D พบว่า การแทนที่แ่งสาลิด้วยแ่งควินัว

ส่งผลต่อค่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างที่มีการแทนที่ด้วยแ่งควินัว มีค่าการเกิดออกซิเดชันมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) มีปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของลิพิด คือ ปริมาณน้ำ (Rattanapanon, 2014) โดยน้ำสามารถทำหน้าที่เป็นได้ทั้งสารยับยั้ง (protective role) และสารเร่งการเกิดปฏิกิริยา (prooxidative role) การทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งของน้ำทำได้โดยการเป็นเสมือนเกราะกั้น (barrier) กั้นระหว่างไขมันและออกซิเจน เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไฮดรอกซิลและเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับ lipid hydroperoxides (Barden, 2014) อย่างไรก็ตาม น้ำทำให้เกิดการละลายของสารเร่งการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น เช่น ไฮดรอกซิลของโลหะ จึงอาจส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น (Barden, 2014) จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้ พบว่า ตัวอย่างที่ใช้แ่งควินัวแทนที่แ่งสาลิมีค่าการเกิดออกซิเดชันมากกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวอย่างควบคุมมีการสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงสุกปริมาณมากกว่า (Figure 2) ทำให้มีปริมาณน้ำในตัวอย่างน้อยกว่า การที่มีน้ำปริมาณน้อยในตัวอย่าง จึงส่งผลให้โอกาสในการเคลื่อนที่มาพบกันของสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยามีน้อยกว่า จากการทดลองของ Chlopicka *et al.* (2012) ที่ศึกษาปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของ pseudocereal เปรียบเทียบกับแ่งสาลิ พบว่า แ่งสาลิมีปริมาณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 6.96 mg/g ซึ่งมากกว่าแ่ง ควินัวที่มีปริมาณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 2.8 mg/g โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารทุติยภูมิที่ด้านการเกิดออกซิเดชัน (Butkhup, 2011) ด้วยเหตุนี้ การที่แ่งซุบทอดที่ถูกแทนที่ด้วยแ่งควินัวมีสัดส่วนของแ่งสาลิลดลง จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่า

จากการศึกษาปริมาณแป้งควินัวที่เหมาะสมในแป้งซูปทอด พบว่า แป้งซูปทอดที่แทนที่ด้วยแป้งควินัวร้อยละ 50 มีค่าร้อยละหลังการปรุงสุกและลักษณะทางเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ พบว่าค่าสีของชั้นแป้งซูปทอดใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (ร้อยละ 0) มากที่สุด จึงเลือกแป้งซูปทอดที่แทนที่ด้วยแป้งควินัวร้อยละ 50 มาศึกษาปริมาณของผงขมิ้นที่เหมาะสมในแป้งซูปทอด

3.2 ศึกษาปริมาณผงขมิ้นที่เหมาะสมในแป้งซูปทอดต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์นักเก็ตปลา

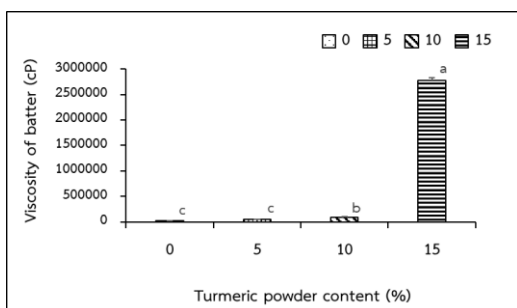


Figure 3 Effect of turmeric powder supplementation on viscosity of batter. Different letters on each bar indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

3.2.1 ความหนืดของแป้งซูปทอด

ค่าความหนืดของแป้งซูปทอดที่แทนที่ด้วยแป้งควินัวร้อยละ 50 ที่มีการเติมผงขมิ้นปริมาณต่างๆ แสดงใน Figure 3 พบว่า การเติมผงขมิ้นส่งผลให้แป้งซูปทอดมีค่าความหนืดมากกว่าตัวอย่างควบคุม การเพิ่มปริมาณผงขมิ้นมากขึ้น ค่าความหนืดของแป้งซูปทอดมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยการเติมผงขมิ้นในแป้งซูปทอด ร้อยละ 10 และ 15 ส่งผลให้ความหนืดมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้อัตราส่วนของน้ำน้อย จะส่งผลให้แป้งซูปทอดมี

ความหนืดสูงขึ้น (Suderman and Cunningham, 1983) จากการทดลองนี้ แป้งซูปทอดทุกตัวอย่างใช้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน การเพิ่มตัวถูกละลายมากขึ้นในระบบที่มีตัวทำละลายปริมาณเท่าเดิม จึงทำให้ความเข้มข้นในระบบสูงขึ้น ส่งผลต่อค่าความหนืดที่เป็นความสามารถในการต้านทานการไหลภายในตัวของไหลมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ผงขมิ้นประกอบด้วยเส้นใยที่อาจเกิดการดูดซับน้ำ (Torbica, Hadnadev, & Soltanizadeh, 2010) การเติมผงขมิ้นร้อยละ 15 จึงส่งผลให้มีความหนืดมากกว่าแป้งซูปทอดที่มีการเติมผงขมิ้นร้อยละ 10 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.2.2 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของนักเก็ตปลา

ลักษณะเนื้อสัมผัสของนักเก็ตปลาที่แป้งซูปทอดแทนที่ด้วยแป้งควินัวร้อยละ 50 ที่มีการเติมผงขมิ้นปริมาณต่างๆ ในแป้งซูปทอด แสดงใน Table 2 พบว่า เมื่อนำส่วนผสมมวลเหินยาที่ทำจากซูริมิไปซูปแป้งซูปทอดที่มีการเติมผงขมิ้น ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า hardness, gumminess และ chewiness มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของผงขมิ้นมากขึ้น ค่า hardness, gumminess และ chewiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ อาจเนื่องมาจากผงขมิ้นที่เป็นส่วนประกอบในแป้งซูปทอดประกอบด้วยเส้นใยที่อาจเกิดการดูดซับน้ำ (Torbica, Hadnadev, & Soltanizadeh, 2010) จึงเกิดการพองตัวในโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างของแป้งซูปทอดมีความแน่นขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้แรงมากขึ้นในการบดหรือทำให้ตัวอย่างเสียรูป ค่า hardness, gumminess และค่า chewiness จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phisutthigason, Jirapeatsayasuk, & Sompongse (2018) ที่ศึกษาการผลิตลูกชิ้นปลาเสริมเจลนบกและสมุนไพร พบว่าการเติมผงสมุนไพรในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า hardness และ chewiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับค่า springiness และ cohesiveness พบว่า ตัวอย่างที่

ชุบด้วยแป้งชุบทอดที่เติมผงขมิ้น มีค่าไม่แตกต่างจาก
ตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

Table 2 Effect of turmeric powder supplementation on textural properties of fish nugget

Turmeric powder content (%)	Hardness (g)	Springiness ^{NS} (mm)	Cohesiveness ^{NS}	Gumminess	Chewiness (g/mm)
0	3056.13 ^c ±204.70	0.84±0.03	0.66±0.01	2008.63 ^c ±146.22	1695.39 ^c ±141.50
5	3592.90 ^b ±417.94	0.87±0.03	0.66±0.01	2417.66 ^b ±292.08	2112.43 ^b ±296.93
10	3933.39 ^b ±512.79	0.87±0.04	0.65±0.02	2563.77 ^b ±278.72	2224.33 ^b ±208.13
15	4580.43 ^a ±294.21	0.85±0.02	0.65±0.02	2885.97 ^a ±169.96	2467.05 ^a ±193.06

Different letters in the same column indicate significant differences ($p\leq 0.05$)

^{NS} Not significant ($p>0.05$)

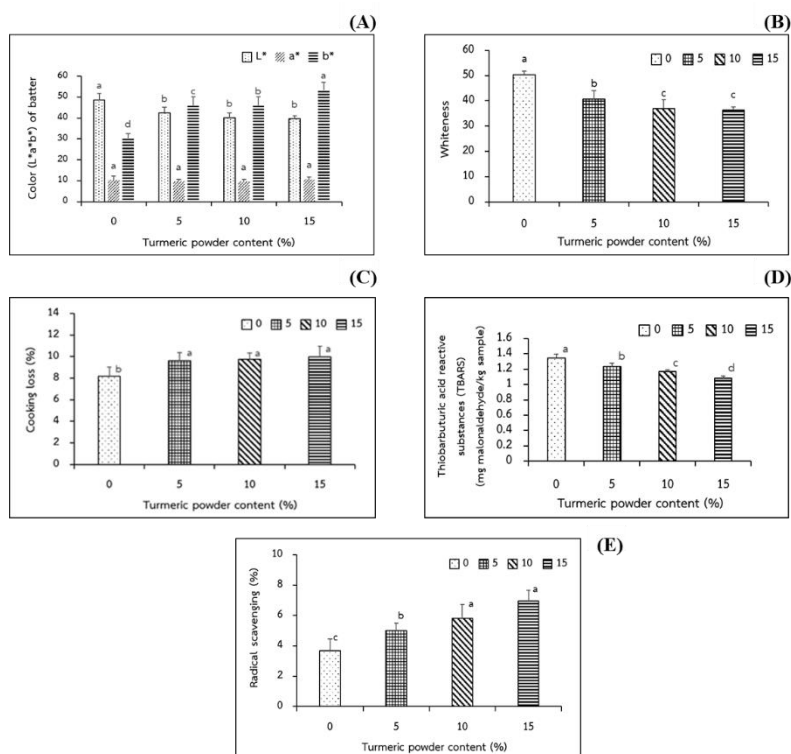


Figure 4 Effect of turmeric powder supplementation on color ($L^*a^*b^*$) of batter (A), whiteness (B), cooking loss (C), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) (D) and radical scavenging of fish nugget (E) Different letters on each bar indicate significant differences ($p\leq 0.05$)

3.2.3 ค่าสี ($L^*a^*b^*$) ของชั้นแป้งชุบทอดและค่าความขาวของเนื้อชั้นในนักเก็ตปลา

ค่าสี ($L^*a^*b^*$) ของชั้นแป้งชุบทอดที่มีการเติมผงไขมันปริมาณต่างๆ ในแป้งชุบทอด แสดงใน Figure 4A พบว่า ตัวอย่างที่ชุบแป้งชุบทอดที่มีการเติมผงไขมันชั้นแป้งชุบทอดมีค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มผงไขมันมากขึ้น ค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่า สีเหลือง (b^*) พบว่า ชั้นแป้งชุบทอดของตัวอย่างที่เติมผงไขมันมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มปริมาณผงไขมันมากขึ้น ทำให้ค่าสีเหลืองมีค่ามากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผงไขมันประกอบด้วยสารสำคัญ คือ สารเคอร์คิวมินซึ่งเป็นสารสีเหลืองส้ม (Kajomvheappunngam, 2005) เมื่อเติมในปริมาณเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ชั้นแป้งชุบทอดมีค่าสีเหลืองมากขึ้น ผลการทดลองในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Noiduang, Tapaothong, & Masileerungsri (2015) ที่ศึกษาการใช้ผงเยื่อฟักข้าวแห้งเป็นสารกันหืนในผลิตภัณฑ์มานองเนส พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของผงฟักข้าวแห้ง ทำให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง และค่า สีเหลืองมีแนวโน้มมากขึ้น เนื่องจากสีของเยื่อฟักข้าวผงมีสีแดงส้ม เมื่อพิจารณา ค่าสีแดง (a^*) พบว่า ทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) สำหรับค่าความขาวของเนื้อด้านใน (Figure 4B) พบว่า ตัวอย่างที่เติมผงไขมันมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อปริมาณผงไขมันเพิ่มขึ้น พบว่า ตัวอย่างมีค่าความขาวลดลงตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความสว่างของแป้งชั้นนอก เนื่องจากสารเคอร์คิวมินซึ่งเป็นสารเคมีที่พบในไขมันชั้น จะพบในส่วนของน้ำมันหอมระเหย มีสมบัติไม่ละลายน้ำ (Kajomvheappunngam, 2005) จึงอาจทำให้สารเคอร์คิวมินเกิดการเคลื่อนที่จากชั้นแป้งชุบทอดไปยังชั้นเนื้อด้านใน ในระหว่างกระบวนการทอดโดยใช้น้ำมัน จึงส่งผลให้ค่าความขาวมีค่าลดลง

3.2.4 ค่าการสูญเสียระหว่างปรุงสุกของนักเก็ตปลา

ค่าการสูญเสียระหว่างปรุงสุกของนักเก็ตปลาที่มีการเติมผงไขมันปริมาณต่างๆ ในแป้งชุบทอด (Figure 4C) พบว่า ปริมาณผงไขมันมีผลต่อค่าร้อยละการสูญเสีย โดยตัวอย่างที่เติมผงไขมันในแป้งชุบทอดมีค่าร้อยละการสูญเสียมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มปริมาณผงไขมันมากขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละการสูญเสียระหว่างปรุงสุกร้อยละ 17.52, 19.31, และ 21.89 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม เนื่องจากผงไขมันประกอบด้วยเส้นใยที่อาจเกิดการดูดซับน้ำ ทำให้ไปแย่งการจับน้ำของโปรตีนกลูเตน ส่งผลรบกวนการสร้างโครงร่างตาข่ายที่เป็นระเบียบ ส่งผลให้โครงสร้างมีความแข็งแรงลดลง ความสามารถในการกักเก็บน้ำน้อยลง จึงสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทอดมากขึ้น ซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yuenyongputtakal, Chinnasarn, & Krasaechol (2014) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ใบขลุ่ยผงเป็นสารผสมอาหาร พบว่า การเติมใบขลุ่ยผงในก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กในปริมาณมากขึ้น มีแนวโน้มให้เกิดการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มได้มากขึ้น เนื่องจากใบขลุ่ยผงที่ได้มาจากส่วนของใบพืช มีองค์ประกอบของใยอาหาร จึงอาจไปขัดขวางการเชื่อมโครงสร้างของสตาร์ชในก๋วยเตี๋ยว ทำให้เกิดโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง จึงทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการแตกออกได้ง่ายในระหว่างการต้ม

3.2.5 ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ของนักเก็ตปลา

Figure 4D แสดงปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ของนักเก็ตปลาที่เติมผงไขมันในแป้งชุบทอด พบว่า ปริมาณผงไขมันมีผลต่อค่า TBARS นั่นคือ ส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างที่ผ่าน

การชุบในแป้งชุบทอดที่มีการเติมผงขมิ้นมีค่าการเกิดออกซิเดชันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มปริมาณผงขมิ้นส่งผลให้มีค่าการเกิดออกซิเดชันลดลงร้อยละ 7.94, 12.83, และ 21.90 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม เนื่องจากผงขมิ้นประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids) ที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Halee and Rattanapun, 2017) สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระกลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Reactive oxygen species, ROS) จากการทำงานของหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ของสารประกอบฟีนอลิกหรือหมู่เมทิล (CH_2 group) ของ β -diketone moiety (Sökmen and Akram Khan, 2016) เมื่อนำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการทอด สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นน้ำมันหอมระเหยสามารถละลายในน้ำมันทอด จึงส่งผลให้ปริมาณ TBARs ลดลง ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mancini, Prezioso, & Pacil (2016) ที่ศึกษาผลของขมิ้นและกรดแอสคอร์บิกต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเบอร์เกอร์ระยะหลังปรุงสุก พบว่า ตัวอย่างที่เติมผงขมิ้นร้อยละ 3.5 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระระหว่างการเก็บรักษาและมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดออกซิเดชันของไขมันมากกว่าตัวอย่างที่เติมกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.1 และตัวอย่างควบคุม

3.2.6 การยับยั้งอนุมูลอิสระของนักเก็ตปลา

การยับยั้งอนุมูลอิสระของนักเก็ตปลาที่มีการเติมผงขมิ้นปริมาณต่างๆ ในแป้งชุบทอด (Figure 4E) พบว่า ปริมาณผงขมิ้นมีผลต่อค่าร้อยละการยับยั้ง โดยตัวอย่างที่มีการเติมผงขมิ้นมีค่าร้อยละการยับยั้งสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มปริมาณผงขมิ้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าร้อยละการยับยั้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.87,

58.43 และ 89.48 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ลดลง (Figure 4D)

จากการศึกษาปริมาณผงขมิ้นที่เหมาะสมในแป้งชุบทอด พบว่า การเติมผงขมิ้นปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการสูญเสียระหว่างปรุงสุกเพิ่มขึ้น ค่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันลดลงและมีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยการเติมผงขมิ้นร้อยละ 5 ในแป้งชุบทอด ส่งผลให้มีค่าความหนืดไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) และมีค่า hardness, gumminess และ chewiness ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด

4. สรุป

การศึกษาผลของการใช้แป้งคิวนัวแทนที่แป้งสาลีที่เหมาะสมในการผลิตแป้งชุบทอดนักเก็ตปลา พบว่า การใช้แป้งคิวนัวแทนที่แป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 50 ทำให้นักเก็ตปลาที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและค่าร้อยละการสูญเสียระหว่างการปรุงสุกไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ค่าสีของชั้นแป้งชุบทอดใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (ร้อยละ 0) มากที่สุด การศึกษาปริมาณผงขมิ้นที่เหมาะสมในแป้งชุบทอดพบว่า การเติมผงขมิ้นร้อยละ 5 ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าความหนืดไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) มีค่า hardness, gumminess และ chewiness ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด ค่าสี L^* ของชั้นแป้งชุบทอดและค่าความขาวของเนื้อชั้นในนักเก็ตปลาน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าร้อยละการสูญเสียระหว่างปรุงสุกลดลงร้อยละ 17.52 มีค่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันลดลงร้อยละ 7.94 และมีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.87 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย ประเภท นักวิจัยรุ่นใหม่ จากกองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตามเลขที่ สัญญา 1/2564 และขอบคุณศูนย์แห่งความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมทางอาหาร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในการสนับสนุนการวิจัย

6. References

- Alencar, N. M. M., Steel, C. J., Alvim, I. D., de Morais, E. C., & Bolini, H. M. A. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 62, 1011- 1018. Doi: 10.1016/j.lwt.2015.02.029.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry, (AOAC) , International 18th edition, Gaithersburg, Maryland.
- Baliga, B. R., & Madaiah, N. (1970). Quality of sausage emulsion prepared from mutton. *Journal of Food Science*, 35(4), 383– 385. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1970.tb00937.x.
- Barden, L. M. (2014). Understanding lipid oxidation in low-moisture food. (Doctoral Degree) , University of Massachusetts Amherst, The Department of Food Science.
- Butkhup, L. (2011). Dietary polyphenols and their biological effects. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 31, 443-455. (in Thai)
- Chlopicka, J., Pasko, P., Gorinstein, S., Jedryas, A., & Zagrodzki, P. (2012). Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads. *LWT - Food Science and Technology*, 46, 548- 555. Doi: 10.1016/j.lwt.2011.11.009.
- Halee, A., & Rattanapun, B. (2017). Study of antioxidant efficacies of 15 local herbs. *KMUTT Research and Development Journal*, 40(2), 283-293. (in Thai)
- Hellems, T., Nekhudzhiga, H. Bockstaele, V. F., Wang, Y. J., Emmambux, M. N., & Eeckhout, M. (2020). Variation in amylose concentration to enhance wheat flour extrudability. *Journal of Cereal Science*, 95, 102992. Doi: 10.1016/j.jcs.2020.102992.
- Kitcharoenthawornchai, N., & Harnsilawat, T. (2015). Characterization of meat analogue nugget: effect of textured vegetable protein. *Food and Applied Bioscience Journal*, 3(2), 121-129. Doi: 10.14456/fabj.2015.12.
- Kitrongrote, K., Posri, W., Prodpran, T., & Benjakul, S. (2009). Development of Ready-to-Eat Battered Shrimp Burger with Low Fat Uptake for Export. Prince of Songkla University. (in Thai)
- Lerschoonhakieat, M. (2014). The effect of quinoa on fasting blood sugar in pre-diabetes patients. (Master Degree), Mae Fah Luang University, School of Medicine. (in Thai)
- Mancini, S., Preziuso, G., & Pacil, G. (2016). Effect of turmeric powder (*Curcuma longa* L.) and ascorbic acid on antioxidant

- capacity and oxidative status in rabbit burgers after cooking. *World Rabbit Science*, 24, 121-127. Doi: 10.4995/wrs.2016.4207.
- Manok, S. , & Limcharoen, P. (2015) . Investigating antioxidant activity by DPPH, ABTS and FRAP assay and total phenolic compounds of herbal extracts in Ya-hom thepphachit. *Advanced Science*, 15, 106-117. (in Thai)
- Noiduang, P. , Tapaothong, N., & Masileerungsri, K. (2015). Use of dried aril of gac fruit as an antioxidant in mayonnaise product. *Journal of Food Technology, Siam University*, 10(1), 9-18. (in Thai)
- Park, J. , Lee, Y. , Lim, J. , Jeon, J. , & Yoon, K. (2021). Effect of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) Starch and Seeds on the Physicochemical and Textural and Sensory Properties of Chicken Meatballs during Frozen Storage. *Foods*, 10, 1601. Doi: 10.3390/foods10071601.
- Phisutthigolson, S. , Jirapeatsayasuk, P. , & Sompongse, W. (2018). Production of fish ball with konjac glucomannan gel and herbs. *Thai Journal of Science and Technology*, 26(2), 224-235. (in Thai)
- Phongpugdee, A. (2003). Development of frozen fish nugget product from Eastern little tuna (*Euthynnus affinis*) . (Master degree) , Kasetsart University, Faculty of Fisheries, Department of Fishery Products. (in Thai)
- Rattanapanon, N. (2014). *Food Chemistry 5th edition*. Bangkok: Odeon Store. (in Thai)
- Sakamut, S., & Sajjabut, S. (2021). Improvement of Threadfin bream (*Nemipterus virgatus*) surimi gel properties by electron beam irradiation. *International Journal of Agricultural Technology*, 17(5), 1921-1934.
- Shukla, T.P. (1993). Batters and breadings for traditional and microwavable foods. *Cereal Foods World*, 38, 701-702.
- Sirilert, T. , (2007). Evaluation of food textural properties. *Journal of Food Technology, Siam University*, 3(1), 6-13. (in Thai)
- Sökmen, M. , & Akram Khan, M. (2016). The antioxidant activity of some curcuminoids and chalcones. *Inflammopharmacology*, 24(2-3), 81–86. Doi: 10.1007/s10787-016-0264-5.
- Suderman, D.R. & Cunningham, F.E. (1983). *Batter and Breadings*. Westport: Avi publishing.
- Supaviriyakorn, W. (2010). Development of frozen fermented fish nugget product from fresh water fishes. (Research Report) , Maejo University. (in Thai)
- Tamsen, M. , Shekarchizadeh, H. , & Soltanizadeh, N. (2018). Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties. *LWT-Food Science and Technology*, 91, 581-587. Doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.001.
- Tang, Y. & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti- inflammatory, and potential health beneficial effects: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61, 1600767. Doi: 10.1002/mnfr.201600767.

- Torbica, A. , Hadnadev, M. , & Dapcevic, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloid*, 24, 626- 632. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2010.03.004.
- Verma, A.K., Rajkumar, V., & Kumar, S. (2019). Effect of amaranth and quinoa seed flour on rheological and physicochemical properties of goat meat nuggets. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 5027-5035. Doi: 10.1007/s13197-019-03975-4.
- Yuenyongputtakal, W. , Chinnasarn, S. , & Krasaechol, N. (2014). Possibility study of using Indian Marsh Fleabane powder as food ingredient. (Research Report) , Burapha University, Faculty of Science, Department of Food Science. (in Thai)