

ผลของการทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝำ (Wolffia arrhiza (L.)) อบแห้งในส่วนฝาของผลิตภัณฑ์มาการอง

Effect of substitution of almond powder with dried watermeal (Wolffia arrhiza (L.)) in macaron shells

วัลลภา โพธาสินธุ์¹, สราวุธ เนียรวิฑูรย์¹, อชิรญาณ์ รงค์ทอง^{1*} และเสาวณีย์ หลีเกื้อ²

Wanlapa Potasin¹, Sarawoot Nienvitoon¹, Achiraya Rongthong^{1*} and Saowanee Leekear²

Received: 5 March 2025 ; Revised: 15 May 2025 ; Accepted: 24 June 2025

บทคัดย่อ

ไข่ฝำเป็นแหล่งอาหารทางเลือกจากพืชท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝำอบแห้ง ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และประเมินการยอมรับของผู้บริโภค โดยเริ่มต้นจากการคัดเลือกสูตรพื้นฐานมาการองจำนวน 3 สูตร นำไปทดสอบ การยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม จากผู้บริโภคจำนวน 50 คน ด้วยวิธี 9-point hedonic scale จากนั้นนำสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดมาศึกษาหาอัตราส่วนของไข่ฝำที่เหมาะสม โดยนำ ไข่ฝำอบแห้งมาทดแทนอัลมอนต์ป่นในมาการองสูตรพื้นฐาน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และประเมินการยอมรับของผู้บริโภค สูตรที่ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเพื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน ผลการทดลองพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝำอบแห้งที่ระดับร้อยละ 5 มากที่สุด โดยมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.4 ± 1.4 , 7.4 ± 1.1 , 7.2 ± 1.6 , 6.7 ± 1.5 , 6.6 ± 1.7 และ 7.1 ± 1.7 ตามลำดับ ด้านคุณภาพทางกายภาพ พบว่ามีค่าความสว่าง (L^*) 70.79 ± 0.74 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) 1.52 ± 0.17 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) 12.90 ± 0.41 ด้านคุณภาพทางเคมีมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.70 ± 0.02 สำหรับองค์ประกอบทางโภชนาการประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร และเถ้า เท่ากับร้อยละ 13.02 ± 0.20 , 7.84 ± 0.03 , 24.49 ± 0.01 , 1.14 ± 0.06 และ 1.42 ± 0.01 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไข่ฝำ, มาการอง, อัลมอนต์ป่น

Abstract

Watermeal is a highly nutritious alternative food source derived from local plants. This research aimed to study formula and production process of substitution of almond powder with dried watermeal in macaron shells, investigate their physical and chemical qualities, and evaluate consumer acceptance. Three basic macaron formulas were selected and tested for consumer acceptance based on appearance, color, odor, taste, texture and overall liking by 50 consumers using a 9-point hedonic scale. The most accepted basic formula was chosen to determine the optimal ratio of watermeal substitution. Almond powder in the basic formula was substituted with dried watermeal at five levels: 0%, 2.5%, 5%,

¹ อาจารย์, สาขาวิชาศิลปและเทคโนโลยีการประกอบอาหาร, วิทยาลัยการท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมบริการ, มหาวิทยาลัยรังสิต

² ผู้ช่วยอาจารย์, สาขาวิชาศิลปและเทคโนโลยีการประกอบอาหาร, วิทยาลัยการท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมบริการ, มหาวิทยาลัยรังสิต

¹ Lecturer, Culinary Arts and Technology Program, College of Tourism and Hospitality Industry, Rangsit University, Pathum

² Assistant Lecturer, Culinary Arts and Technology Program, College of Tourism and Hospitality Industry, Rangsit University

* Corresponding author ; E-mail : achiraya.r@rsu.ac.th

7.5% and 10%. Subsequently, these formulations were analyzed for their physical and chemical qualities, as well as consumer acceptance. The formula with the highest consumer acceptance was selected for nutritional analysis to compare with the basic formula. The results indicated that consumers gave the highest acceptance to the 5% substitution of dried watermeal in macaron shells, with average scores for appearance, color, odor, taste, texture and overall liking of 7.4 ± 1.4 , 7.4 ± 1.1 , 7.2 ± 1.6 , 6.7 ± 1.5 , 6.6 ± 1.7 and 7.1 ± 1.7 , respectively. The physical qualities included a lightness value (L^*) of 70.79 ± 0.74 , a redness value (a^*) of 1.52 ± 0.17 and a yellowness value (b^*) of 12.90 ± 0.41 . The chemical quality, specifically water activity (a_w), was 0.70 ± 0.02 . The nutritional composition consisted of $13.02 \pm 0.20\%$ moisture, $7.84 \pm 0.03\%$ protein, $24.49 \pm 0.01\%$ fat, $1.14 \pm 0.06\%$ fiber and $1.42 \pm 0.01\%$ ash.

Keywords: Watermeal, macarons, almond powder

บทนำ

เนื่องด้วยการเติบโตของประชากรโลกเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความต้องการอาหารมากขึ้น โปรตีนเป็นหนึ่งในสารอาหารหลักที่มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับมนุษย์ การบริโภคโปรตีนอย่างเพียงพอเป็นสิ่งสำคัญ และจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของร่างกาย โปรตีนจากพืชจึงเป็นแหล่งทางเลือกที่ชัดเจนในการนำมาใช้แทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ การแสวงหาวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งอาหารชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ได้แก่ สามารถขยายพันธุ์ได้ง่าย และรวดเร็ว สามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วโดยใช้ระยะเวลาสั้น ๆ มีขั้นตอนการเพาะเลี้ยงที่ไม่ยุ่งยาก ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ และที่สำคัญคือมีคุณค่าทางอาหารสูง (สุขุม เ้าใจ และ สุทิน สมบูรณ์, 2550)

ไข่ผำ หรือ ไข่น้ำ (Khai phum or Khai nam) เป็นไม้อลอยน้ำที่ต้นประกอบด้วยเมดูลีสีเขียว เป็นพืชดอกที่เป็นไม้น้ำซึ่งมีขนาดเล็กที่สุด (อุมาพร นิยะนุช และ รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย, 2553) ในประเทศไทยมีไข่ผำ 2 ชนิด ได้แก่ *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. และ *Wolffia globosa* (L.) Wimm. ความแตกต่างของไข่ผำทั้ง 2 ชนิดที่พบในประเทศไทย คือ *W. arrhiza* มีขนาดใหญ่กว่า ผิวด้านบนค่อนข้างมีสีเขียวเข้ม ลำต้นมีลักษณะที่บวม ส่วน *W. globosa* จัดได้ว่าเป็นพืชดอกที่มีขนาดเล็กมากที่สุด ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า *W. arrhiza* และเป็นรูปทรงกระบอกมากกว่า *W. arrhiza* นอกจากนี้ลำต้นยังมีลักษณะโปร่งแสงมากกว่าอีกด้วย (ภาณุมาศ ทองคำ, 2562) ไข่ผำสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยใช้เมดูลี และสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ พบมากในระหว่างฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อน บริเวณแหล่งน้ำนิ่งโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือของประเทศไทย (วัณนี บุญวิทยา และคณะ, 2559) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์โดยน้ำหนักแห้งของไข่ผำ พบว่า มีโปรตีนร้อยละ 6.8-45 ไขมันร้อยละ 1.8-9.2 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 14.1-43.6 และเส้นใยอาหาร ร้อยละ 5.7-16.2 (กองโภชนาการ, 2544) นอกจากนี้ ไข่ผำ

ยังมีองค์ประกอบของแคลเซียม 59.0 มิลลิกรัม และเบต้า-คาโรทีน 64.16 RE ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม (อำพรพรณชัยกุลเสวีวัฒน์ และ ปิยะมาภรณ์ เอมเสมอ, 2550)

จากการศึกษาของ Ruekaewma *et al.*, (2015) พบว่าไข่ผำมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น ทรีโอนีน, วาลีน, เมไทโอนีน, ไอโซลิวซีน, ลิวซีน, เฟนิลอะลานีน, ไลซีน, ทรีโอนีน, ทรีพโตเฟน, อาร์จินีน และ ฮีสทีดีน มีรายงานการวิจัยถึงฤทธิ์ทางเภสัช อาทิ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รักษาอาการท้องผูก มีเส้นใยอาหารที่ดีต่อระบบย่อยอาหาร ฤทธิ์ต้านการติดเชื้อ และช่วยรักษาภาวะขาดในคนที่เป็โรคโลหิตจาง ช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอในร่างกาย ไข่ผำยังมีแคลเซียมช่วยให้กระดูกแข็งแรง (พิพัฒน์พงษ์ วงศ์ใหญ่ และศศิธร ชาววัลจันท์, 2554) ไข่ผำถือเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่ใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสั้น สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็ว มีแมลงศัตรูพืชน้อย มีการขยายพันธุ์ได้รวดเร็วตามธรรมชาติที่สมบูรณ์ ทำให้ได้ผลผลิตปริมาณมาก ต้นทุนของการผลิตต่ำ คนพื้นเมืองในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมนำไข่ผำมาทำอาหารคาวและอาหารหวาน โดยปรุงให้สุกก่อนรับประทาน เนื่องจากมีแคลเซียม และเบต้าแคโรทีนสูง มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าปลา ไข่ เนื้อวัว และถั่วเหลือง (ต้นศันย์ อุดมอ่าง, 2555) ดังนั้นการใช้ไข่ผำจึงเป็นโปรตีนทางเลือกจากพืชที่สำคัญในตลาดปัจจุบันทั้งอาหารมนุษย์และสัตว์ (วนิดา ปานอุทัย, 2563)

มาการอง (Macaron) เป็นขนมหวานที่มีรูปร่างกลมเหมือนแซนด์วิชสองชั้นประกบกัน มีไส้ตรงกลาง เป็นขนมที่มีต้นกำเนิดจากประเทศฝรั่งเศส เกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1791 จัดว่าเป็นขนมประเภทเมอแรงก์ (Meringue) ชนิดหนึ่ง มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนคือ อัลมอนต์บด น้ำตาลทราย น้ำตาลไอซิ่ง ไข่ขาว และมีการเติมสีผสมอาหาร (Wu, 2012) เป็นขนมอบที่มีลักษณะคล้ายโดมแบน ๆ ด้านนอกกรอบด้านในเหนียวนุ่ม ด้วยรสชาติที่หอมหวาน มีไส้ตรงกลางเป็นกานาช

(Ganache) มีหลายรสชาติ เช่น ช็อกโกแลต สตรอว์เบอร์รี วานิลลา อัลมอนต์ หรือผลไม้ตามฤดูกาล เป็นต้น มาตรการจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยปัจจัยที่ทำให้การทำการครองประสบความสำเร็จนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการทำเมอแรงก์ และการพักหน้าขนมก่อนอบ อย่างไรก็ตามพบว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการทำการครองโดยเฉพาะถั่วอัลมอนต์ เป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานและปริมาณไขมันสูง ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการของ อัลมอนต์ 100 กรัมให้พลังงาน 580 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 21.7 กรัม โยอาหาร 12.2 กรัม ไขมัน 49.42 กรัม น้ำ 4.7 กรัม และโปรตีน 21.22 กรัม (อธิป บุญศิริทวี, 2556)

คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นประโยชน์ของการนำ ไข่ฝาค้าง เป็นพืชพื้นบ้านของไทยที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโปรตีน โยอาหาร แคลเซียม และเบต้าแคโรทีน มาทดแทนอัลมอนต์ป่นในผลิตภัณฑ์ทำการครอง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น และยังเป็นทางเลือกในการนำไข่ฝามาใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารแก่ผู้บริโภคทำการครอง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้รับความนิยมมากในกลุ่มวัยรุ่น และกลุ่มวัยทำงาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาสูตรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ทำการครองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝาค้าง

2) เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของผลิตภัณฑ์ทำการครองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝาค้าง

3) เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ทำการครองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝาค้าง

การทดลอง

1. การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของไข่ฝาค้าง

ไข่ฝาค้างที่ใช้ในงานวิจัยเป็นไข่ฝาค้างชนิด *Wolffia arrhiza* (L.) ที่ผ่านการอบแห้ง มาจาก Viton Farm Organic จังหวัดพิษณุโลก นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี [ค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)] ด้วยเครื่อง วัดค่าสี (Shenzhen WR-10, China) และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง a_w meter (Fujian WA-160A, China) เมื่อทำการวัดคุณภาพเรียบร้อยแล้วนำไข่ฝาค้างไปบรรจุถุงสุญญากาศแล้วเก็บรักษาแบบสุญญากาศ เพื่อเตรียมนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2. การคัดเลือกสูตรพื้นฐานทำการครอง

ทำการคัดเลือกสูตรมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ทำการครอง 3 สูตร ดังแสดงใน Table 1 โดยมีวิธีการทำ ดังนี้

Table 1 Ingredients for macaron shells production in 3 formulas for basic formula selection.

Ingredients	Formula 1		Formula 2		Formula 3	
	g	%	g	%	g	%
1) Almonds Powder	300	25.21	300	23.94	300	24.27
2) Icing sugar	300	25.21	300	23.94	300	24.27
3) White sugar	300	25.21	300	23.94	262	21.20
4) Egg white	220	18.49	240	19.15	224	18.12
5) Water	70	5.88	113	9.03	150	12.14
Total	1,190	100	1,253	100	1,236	100

Reference : Formula 1 Herme, P. (2011).

Formula 2 José, M. (2010).

Formula 3 Christophe, F. (2015).

2.1 ขั้นตอนการผลิตฝามาการครอง

ส่วนที่ 1

1) ผสมอัลมอนต์ป่น และน้ำตาลไอซิ่งให้เข้ากัน ปั่นด้วยเครื่อง food processor (MARA, Thailand) นาน 15 วินาที โดยใช้ความเร็วต่ำ

2) ร่อนอัลมอนต์ และน้ำตาลไอซิ่งที่ปั่นไว้ผ่าน

ตะแกรงความละเอียด 40 เมช แล้วคนผสมกับไข่ขาวส่วนที่ 1 (ร้อยละ 50 ของสูตร) ให้เข้ากันดี พักไว้

ส่วนที่ 2

1) ทำน้ำเชื่อมโดยผสมน้ำตาลทราย และน้ำเปล่า คนผสมให้เข้ากัน นำไปต้มไฟกลาง

2) ตีไข่ขาวส่วนที่ 2 (ร้อยละ 50 ของสูตร) ด้วยหัวตี

ตะกร้อ โดยใช้ความเร็วปานกลางด้วยเครื่องผสมอาหาร (KitchenAid; Heavy Duty, USA.) จนกระทั่งมีลักษณะเป็น ฟองฟูละเอียด ปิดเครื่อง พักไว้

3) เมื่อน้ำเชื่อมมีอุณหภูมิถึง 115 องศาเซลเซียส ให้เปิดเครื่องผสมอาหารด้วยความเร็ว ปานกลาง ตีไข่ขาวอีกครั้ง รอจนกระทั่งน้ำเชื่อมมีอุณหภูมิถึง 117 องศาเซลเซียส ปรับความเร็วเครื่องผสมอาหารเป็นความเร็วสูงสุด จากนั้นเทน้ำเชื่อมร้อนลงในอ่างผสมไข่ขาวที่กำลังเดินเครื่องอยู่ ตีผสมต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งส่วนผสมเย็นลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส ปิดเครื่อง

4) นำส่วนผสมส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ผสมให้เข้ากัน ด้วยพายยาง

5) เมื่อผสมเข้ากันแล้ว ให้ทดสอบโดยการตักเนื้อมา การอง (Batter) ขึ้นด้วยพายยาง ยกขึ้นตรง ๆ แล้วปล่อยให้เนื้อมาการอง (Batter) ไหลกลับลงไปใน อ่างผสม เนื้อมาการอง (Batter) จะไหลลงมากับกันไปมาจนหมด ซ้อนกันเป็นชั้น ลักษณะคล้ายริบบิ้นพับทบ จับเวลา 15 วินาที เขย่าอ่างผสมเบา ๆ หากรอยพับทบของเนื้อมาการอง (Batter) เริ่มเรียบ กลิ่นเป็นเนื้อเดียวกันภายใน 15 วินาที ถือว่าสามารถใช้ได้ แต่หากเนื้อมาการอง (Batter) ยังมีความชื้น เหนียว ให้คนผสมต่อไปแล้วทำการทดสอบในขั้นตอนดังกล่าวอีกครั้ง

6) นำเนื้อมาการอง (Batter) ใส่ถุงบีบที่บรรจุด้วยหัว บีบกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร แล้วบีบลงบนกระดาษเคลือบไขรองอบบนถาดอบที่มีความเรียบ ให้เนื้อมาการอง (Batter) มีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 3.5 ถึง 4 เซนติเมตร เคาะถาดอบเบา ๆ เพื่อให้หน้าของเนื้อมาการอง (Batter) เรียบ

7) วางถาดพักไว้ในบริเวณที่ไม่โดนลม อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จนกระทั่งผิวหน้าของมาการองนั้นเปลี่ยนจากที่เคยมีความเงากลายเป็นสีแบบด้านขึ้น หรือจนกระทั่งใช้นิ้วสัมผัสไปที่ผิวหน้าของมาการองแล้วไม่เหนียวติดนิ้วมือ

8) อบด้วยเตาอบไฟฟ้าชั้นเดียว (MIWE; Condo, Germany) ที่อุณหภูมิด้านบน 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิด้านล่าง 160 องศาเซลเซียส นานประมาณ 17-18 นาที จนสุก

9) นำฝามาการองออกจากถาดรองอบพักให้เย็นสนิทบนตะแกรงเพื่อรอการใส่ไส้ต่อไป

2.2 ขั้นตอนการผลิตไส้มาการองแบบครีมเนย (Buttercream)

เตรียมส่วนผสมสำหรับไส้มาการอง (อัตราส่วนผสม

เตอร์ครีม) โดยใช้สูตรของ Hoboken, (2011) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Ingredients for Italian meringue buttercream production.

Ingredients	Quantity	
	g	%
1) White sugar	454	26.26
2) Egg white	240	13.88
3) Salted butter	907	52.46
4) Water	113	6.54
5) Vanilla flavor	15	0.87
Total	1,729	100

โดยมีวิธีทำ ดังนี้

1) หั่นเนยเป็นลูกบาศก์ขนาด 1.5 เซนติเมตร พักไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2) ทำน้ำเชื่อมโดยผสมน้ำตาลทราย และน้ำเปล่า คนผสมให้เข้ากัน นำไปต้มไฟกลาง

3) ทำเมอแรงก์ (Meringue) โดยการตีไข่ขาวด้วยหัวตีตะกร้อ โดยใช้ความเร็วปานกลางด้วยเครื่องผสมอาหาร (KitchenAid; Heavy Duty, USA.) จนกระทั่งมีลักษณะเป็น ฟองฟูละเอียด ปิดเครื่อง พักไว้

4) นำเนยที่หั่นเตรียมไว้ออกมาคลายเย็นให้เนยมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

5) เมื่อน้ำเชื่อมมีอุณหภูมิถึง 115 องศาเซลเซียส ให้เปิดเครื่องผสมอาหารด้วยความเร็วปานกลาง ตีไข่ขาวอีกครั้ง รอจนกระทั่งน้ำเชื่อมมีอุณหภูมิถึง 117 องศาเซลเซียส ปรับความเร็วเครื่องผสมอาหารเป็นความเร็วสูงสุด จากนั้นเทน้ำเชื่อมร้อนลงในอ่างผสมไข่ขาวที่กำลังเดินเครื่องอยู่ ตีผสมต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งส่วนผสมเย็นลงเหลือ 25 องศาเซลเซียส

6) ทอยใส่เนยลงในเมอแรงก์ (Meringue) แล้วตีผสมต่อไปด้วยหัวตีตะกร้อ ด้วยความเร็วสูงสุดของเครื่องผสมอาหารจนกระทั่งเนยขึ้นฟู โดยครีมที่ได้จะมีลักษณะสีขาวนวล จากนั้นใส่กลิ่นวานิลลาตีผสมให้เข้ากันดี พักไว้

2.3 ขั้นตอนการใส่ไส้มาการอง

1) จับคู่ฝามาการองที่ยื่นแล้ว เตรียมพักไว้บนถาดรอง โดยผ่าหนึ่งหยาง อีกผ่าหนึ่งคว่ำ

2) บรรจุครีมเนยใส่ในถุงบีบพร้อมด้วยหัวบีบกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

3) บีบครีมเนยลงบนฝามาการองที่หยางอยู่ โดยให้สัดส่วนของฝามาการองต่อครีมเนยเท่ากับ ฝา : ครีมเนย : ฝา

เท่ากับ 1 : 2 : 1 เมื่อมองด้วยตาเปล่า

4) นำฝามาการองที่คว่ำอยู่มาประกบเข้าคู่กับฝาคือบีบใส่ไว้แล้ว บีบฝามาการองเข้าหากันเบา ๆ กระทั่งครีมเนยแบนลงแล้วกระจายตัวมาที่ขอบฝามาการองพอดี

5) วางมาการองลงบนถาดที่มีขอบถาดสูงประมาณ 4 เซนติเมตร โดยวางในลักษณะตะแคง

6) ใช้พลาสติกใสถนอมอาหารคลุมปิดถาดที่ใส่มาการองทั้งถาด

7) ทำการบ่มมาการองในตู้เย็นเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อให้ฝามาการองได้ดูดซับความชื้นจากไส้มาการองได้เต็มที่ก่อนนำไปทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในขั้นตอนต่อไป

2.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำมาการองทั้ง 3 สูตร ไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ตามวิธีการของ Chamber IV and Wolf (1996) ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ช่วงคะแนน 1-9 (1 ไม่ชอบมากที่สุด, 2 ไม่ชอบมาก, 3 ไม่ชอบปานกลาง, 4 ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 เฉย ๆ, 6 ชอบเล็กน้อย, 7 ชอบปานกลาง, 8 ชอบมาก และ 9 ชอบมากที่สุด) ในกระบวนการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยไม่อาศัยหลักความน่าจะเป็น (non-probability sampling) ใช้การเลือกแบบหลายขั้นตอน (multi-stage sampling) ประกอบด้วยการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งคุณสมบัติของผู้เข้าร่วมการวิจัย ตามเกณฑ์คัดเข้า ได้แก่ เพศชายหรือหญิง สุขภาพดี อายุ 18-60 ปี มีความสนใจและสามารถบริโภคผลิตภัณฑ์จากไข่ผง และไม่มีประวัติแพ้ไข่ผงหรือผลิตภัณฑ์แปรรูปจากไข่ผง จากนั้นใช้การเลือกแบบตามสะดวก (Convenient sampling) จำนวน 50 คน (Kemp, S.E., Hollowood, T. and Hort, J., 2009) มาการองสูตรที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดจะถูกคัดเลือกนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. การศึกษาอัตราส่วนปริมาณไข่ผงที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ผงอบแห้ง

ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไข่ผง โดยทดแทนอัลมอนต์ในสูตรพื้นฐานที่ถูกคัดเลือกจากข้อ 2.4 โดยทำการทดแทนไข่ผงเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 ทำการผสมส่วนผสมวัตถุดิบตาม Table 3 นำตัวอย่างที่ได้ไปประเมินคุณภาพ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณไข่ผงในผลิตภัณฑ์ มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ผงอบแห้งที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด ดังนี้

3.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ

ได้แก่ ค่าสี ค่าความสว่าง (L^*), ค่าความเป็น สีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Shenzhen WR-10, China)

3.2 ศึกษาคุณภาพทางเคมี

ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง a_w meter (Fujian WA-160A, China)

3.3 ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ได้แก่ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ตามวิธีการของ Chamber IV and Wolf (1996) ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ช่วงคะแนน 1-9 (1 ไม่ชอบมากที่สุด, 2 ไม่ชอบมาก, 3 ไม่ชอบปานกลาง, 4 ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 เฉย ๆ, 6 ชอบเล็กน้อย, 7 ชอบปานกลาง, 8 ชอบมาก และ 9 ชอบมากที่สุด) ในกระบวนการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยไม่อาศัยหลักความน่าจะเป็น (non-probability sampling) ใช้การเลือกแบบหลายขั้นตอน (multi-stage sampling) ประกอบด้วยการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งคุณสมบัติของผู้เข้าร่วมการวิจัย ตามเกณฑ์คัดเข้า ได้แก่ เพศชายหรือหญิง สุขภาพดี อายุ 18-60 ปี มีความสนใจและสามารถบริโภคผลิตภัณฑ์จากไข่ผง และไม่มีประวัติแพ้ไข่ผงหรือผลิตภัณฑ์แปรรูปจากไข่ผง จากนั้นใช้การเลือกแบบตามสะดวก (Convenient sampling) จำนวน 50 คน (Kemp, S.E., Hollowood, T. and Hort, J., 2009)

Table 3 Macaron shells production formulas, substitution of almond powder with dried watermeal in 5 levels.

Ingredients (%)	Formula				
	1	2	3	4	5
1. Dried watermeal	0	2.5	5.0	7.5	10.0
2. Almond powder	25.0	22.5	20.0	17.5	15.0
3. Icing sugar	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
4. White sugar	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
5. Egg white	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
6. Water	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Total	100	100	100	100	100

4. ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้ง

นำมาการองทั้งชิ้นที่มีการสอดไส้ครีมสูตรที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.3 ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีน (AOAC, 2016)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และค่าสี วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ส่วนการวิเคราะห์การทดสอบการยอมรับ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) และหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของไข่ฝัอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของ ไข่ฝัอบแห้งด้านค่าสี พบว่า ไข่ฝัอบแห้งมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 50.72 ± 0.55 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 2.90 ± 0.48 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 13.01 ± 0.48 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าเท่ากับ 0.64 ± 0.01 ซึ่งไข่ฝัอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ซึ่งมาจากคลอโรฟิลล์ในไข่ฝัอบเป็นรงควัตถุในพืชที่ให้สีเขียวที่พบในพืชทั่วไป อูมาพร นิยะนุช และ รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย (2553) ได้รายงานหาไข่ฝัอบมีสารสีเขียวที่มาจากคลอโรฟิลล์โดยมีค่าเท่ากับ 30.17 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

2. ผลการคัดเลือกสูตรพื้นฐานมาการอง

จากการศึกษาสูตรพื้นฐานมาการอง 3 สูตร โดยการประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผลการคัดเลือกมาการองสูตรพื้นฐานดังแสดงใน Table 4 พบว่า มาการองสูตรที่ 1 ผู้บริโภคให้คะแนนประสาทสัมผัสด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.3 ± 1.2 , 7.4 ± 1.3 และ 7.5 ± 0.9 ตามลำดับ ส่วนคะแนนด้านกลิ่นรส ผู้บริโภคพบว่า มาการองทั้ง 3 สูตรมีค่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงคัดเลือกมาการองสูตรที่ 1 ไปพัฒนาต่อไป

Table 4 Results of sensory evaluation of macaron shells basic formula selection.

Attribute	Macaron		
	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Appearance	7.5 ± 1.2^{ab}	6.9 ± 1.4^b	7.6 ± 1.4^a
Color	7.1 ± 1.2^b	7.4 ± 1.1^a	7.3 ± 1.1^{ab}
Taste	7.3 ± 1.2^a	7.5 ± 1.2^a	6.9 ± 1.1^b
Odor ^{ns}	7.3 ± 1.3	7.2 ± 1.4	7.2 ± 1.1
Texture	7.4 ± 1.3^a	6.9 ± 1.4^{ab}	6.8 ± 1.4^b
Overall liking	7.5 ± 0.9^a	7.3 ± 1.4^{ab}	6.9 ± 1.3^b

Annotation : Different letters in the same row means there is a statistically significant difference ($p \leq 0.05$).

^{ns} means there is no statistical significant difference ($p > 0.05$).

3. ผลการศึกษาอัตราส่วนปริมาณไข่ฝัอบที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้ง

จากการศึกษาสูตรพื้นฐานที่ผ่านการคัดเลือก มาศึกษาปริมาณฝัอบที่ที่เหมาะสมในการทดแทนอัลมอนต์ป่นในการอบจำนวน 5 ระดับ ปริมาณไข่ฝัอบร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยมีการประเมินคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังนี้

3.1 ผลการศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพ

คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าความสว่าง (L^*), ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทน อัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 ดังแสดงใน Table 5 พบว่า ค่าสี ค่าความสว่าง (L^*) ของมาการองมีค่าลดลงเมื่อปริมาณไข่ฝอยเพิ่มมากขึ้น โดยมาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งที่ร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 84.23 ± 0.02 , 73.09 ± 1.19 , 70.79 ± 0.74 , 65.82 ± 0.05 และ 41.66 ± 0.17 ตามลำดับ เนื่องจากค่า L^* เป็นค่าบ่งบอกความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าตั้งแต่ 0-100 ดังนั้นเมื่อปริมาณไข่ฝอยในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์ลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) พบว่ามาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งที่ร้อยละ 0 มีค่ามากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.07 ± 0.06 มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่า a^* หมายถึงค่าสีมีแนวโน้มไปทางสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่า มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งที่ร้อยละ 10 มีค่ามากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 16.72 ± 0.10

การเพิ่มปริมาณไข่ฝอยส่งผลต่อสีของมาการอง พบว่าเมื่อปริมาณไข่ฝอยเพิ่มมากขึ้น สีของมาการองจะเป็นสีเขียวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกริธา พรปัทมวิชญ์ และสุพรรณิการ์ กล่อมจ่อหอ (2567) ที่ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมโปรตีนจากไข่ฝอย พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ได้เสริมไข่ฝอยมีค่าสี L^* เท่ากับ 64.41 ค่า a^* เท่ากับ -0.49 และค่า b^* เท่ากับ 0.74 ตามลำดับ เมื่อเสริมไข่ฝอยในเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่า ค่าสี L^* มีแนวโน้มลดลง การเสริมไข่ฝอยทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าสี a^* ลดลงจากชุดควบคุม เพราะค่า a^* มีค่าลดลงจึงแสดงผลทำให้สีเขียวเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏคือเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เสริมไข่ฝอยจะมีสีเขียวมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวชุดควบคุมและ การเสริมไข่ฝอยส่งผลให้ค่าสี b^* ของเส้นก๋วยเตี๋ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมจึงแสดงผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เสริมไข่ฝอยมีสีเหลืองมากกว่าชุดควบคุม

3.2 ผลการศึกษาคุณภาพทางเคมี

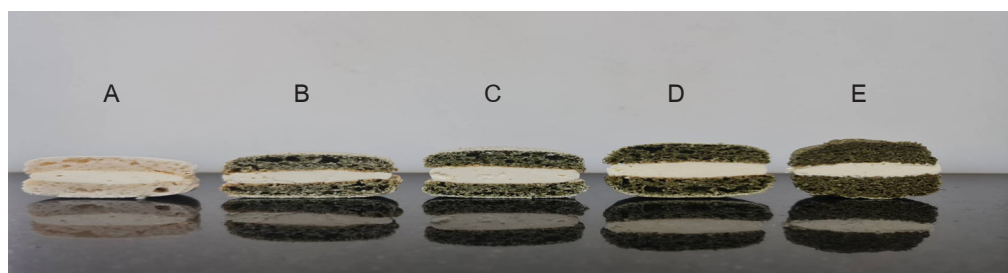
คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์มาการองเสริมไข่ฝอยทั้ง 5 ระดับ แสดงใน Table 5 พบว่า มาการองเสริมไข่ฝอยที่ร้อยละ 0, 2.5 และ 5 มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนมาการองเสริมไข่ฝอยที่ร้อยละ 10 มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) น้อยที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.66 ± 0.01 เนื่องจากไข่ฝอยแห้งมีความชื้นน้อยและมีเส้นใยสูงจึงส่งผลทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยรวมของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งที่ร้อยละ 10 มีปริมาตรจำเพาะที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง และมีความสูงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ทั้งนี้ด้วยไข่ฝอยเป็นพืชน้ำ ซึ่งหลังจากอบแห้งแล้วจะประกอบด้วยเส้นใยอาหารอยู่ร้อยละ 5.7-16.2 (กองโภชนาการ, 2544) โดยส่วนมากเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (crude fiber) จากผนังเซลล์ของไข่ฝอย (Kakanang *et al.*, 2023) ซึ่งเส้นใยอาหารดังกล่าวนี้มีความสามารถในการจับตัวกับน้ำได้เป็นอย่างดี (Hengsawad, D., 2002) เมื่อทำการทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งในผลิตภัณฑ์มาการองในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ลักษณะเนื้อมาการอง (Batter) ในขณะที่ยิบขึ้นรูปมีความเหนียวมากขึ้นเนื่องจากเส้นใยอาหารในไข่ฝอยแห้งจับตัวกับน้ำหรือความชื้นในเนื้อมาการอง (Batter) ได้มากขึ้นจึงส่งผลให้ลักษณะของเนื้อมาการอง (Batter) ที่ผสมแล้วมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อนำไปยิบขึ้นรูปจึงไม่สามารถแผ่กระจายตัวออกด้านข้างได้ตามปกติดังเช่นสูตรควบคุม ส่งผลให้ส่วนฝาของมาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นมีความสูงของฝามาการองที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยความชื้นของผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝอยแห้งที่ผลิตได้นั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณไข่ฝอยแห้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกันกับการศึกษาของ วณิดา บุรีภักดี และคณะ (2566) ที่พบว่า การเติมผงแกลบแทนถั่วอัลมอนต์ป่นในผลิตภัณฑ์มาการองเป็นผลให้ความชื้นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทดแทนถั่วอัลมอนต์ป่นด้วยกากถั่วดาวอินคาในผลิตภัณฑ์ฝามาการองในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Table 5 Physical qualities and chemical quality of macaron substituted of almond powder with 5 levels of dried watermeal.

Quality	0%	2.5%	5%	7.5%	10%
Physical qualities					
L*	84.23±0.02 ^a	73.09±1.19 ^b	70.79±0.74 ^c	65.82±0.05 ^d	41.66±0.17 ^e
a*	2.07±0.06 ^a	1.82±0.42 ^{ab}	1.52±0.17 ^{bc}	1.18±0.07 ^c	1.99±0.26 ^a
b*	12.33±0.23 ^c	14.49±0.60 ^b	12.90±0.41 ^c	14.71±0.05 ^b	16.72±0.10 ^a
Chemical quality					
a _w	0.70±0.01 ^a	0.70±0.02 ^a	0.70±0.02 ^a	0.68±0.01 ^{bc}	0.66±0.01 ^c

Annotation : Different letters in the same row means there is a statistically significant difference ($p \leq 0.05$).

**Figure 1** Characteristic of macarons substituted of almond powder with watermeal 0% (A), 2.5% (B), 5% (C), 7.5% (D) and 10% (E)

3.3 ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ดังแสดงใน Table 6 ความชอบด้านลักษณะปรากฏ พบว่า มีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งที่ร้อยละ 5 ได้รับคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 2.5 และ ร้อยละ 7.5 โดยมีค่าเท่ากับ 7.4 ± 1.4 , 7.1 ± 1.4 และ 6.7 ± 1.4 ตามลำดับ

ความชอบด้านสี พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนผลิตภัณฑ์ที่มีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 2.5 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยคะแนนด้านสีของผลิตภัณฑ์ มีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 2.5 และ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.9 ± 1.4 และ 7.4 ± 1.1 ตามลำดับ ส่วนมีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 10 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.1 ± 2.1 ซึ่งผู้บริโภคระบุว่ามีการใช้ไข่ฝ่ออบแห้งไม่เหมาะสม และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ความชอบด้านรสชาติ พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนผลิตภัณฑ์ที่มีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 2.5 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยคะแนนด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่มีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 2.5 และ 5 มีค่า

เฉลี่ยเท่ากับ 6.8 ± 1.7 และ 7.2 ± 1.6 ตามลำดับ ส่วนมีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 10 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.9 ± 2.0 เนื่องจากการเติม ไข่ฝ่ออบแห้งในปริมาณน้อยๆ ส่งผลให้รสชาติของ มีการลองยังมีความหอมหวาน และอร่อยกว่า มีการลองที่ที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งปริมาณมาก

ความชอบด้านกลิ่นรส พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนผลิตภัณฑ์ที่มีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วย ไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 2.5 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยคะแนนด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ที่มีการลองเสริมไข่ฝ่อร้อยละ 2.5 และ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.9 ± 1.7 และ 6.7 ± 1.5 ตามลำดับ ส่วนมีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 10 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.7 ± 2.1 ซึ่งผู้บริโภคระบุว่ามีการใช้ไข่ฝ่ออบแห้งทดแทนอัลมอนต์ป่นที่ร้อยละ 10 มีกลิ่นเหม็นเขียวซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่พึงประสงค์

ความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนผลิตภัณฑ์ที่มีการลองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วย ไข่ฝ่ออบแห้งร้อยละ 5 มากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6 ± 1.7 เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการลองที่ทดแทน อัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ่ออบแห้งที่ยังคงเนื้อสัมผัสผิวข้างนอกกรอบ ข้างในเนื้อสัมผัสนุ่มฟูคล้ายเนื้อเค้ก

ด้านความชอบโดยรวม พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนผลิตภัณฑ์จากการอบที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วย ไข่ฝัอบแห้งร้อยละ 2.5 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยคะแนนด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์จากการอบที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งร้อยละ 2.5 และ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.8 ± 1.2 และ 7.1 ± 1.7 ตามลำดับ ส่วนมา การอบที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งร้อยละ 10 ผู้ ทดสอบชิมให้คะแนนน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.7 ± 2.1

ดังนั้น ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบ ว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์จากการอบที่ทดแทน อัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งที่ร้อยละ 5 มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบ โดยรวมเท่ากับ 7.4 ± 1.4 , 7.4 ± 1.1 , 7.2 ± 1.6 , 6.7 ± 1.5 , 6.6 ± 1.7 และ 7.1 ± 1.7 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 6 ซึ่งมา การอบที่ ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งร้อยละ 5 มีสีอ่อนรูปทรง สวยงาม กลิ่นหอมไข่ฝั รสชาติหวานกลมกล่อม และมีเนื้อ สัมผัสดี ผิวข้างนอกกรอบ ข้างในเนื้อสัมผัสนุ่มฟูคล้ายเนื้อเค้ก จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการทำผลิตภัณฑ์มา การอบ ที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้ง

ดังนั้น การทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งใน ผลิตภัณฑ์ปริมาณมากจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ แต่ อาจส่งผลต่อคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารได้ ซึ่งอาจส่งผลให้เนื้อ สัมผัสมีลักษณะหยาบ แข็ง สีของผลิตภัณฑ์มีสีเขียวเข้มมาก เกินไป อีกทั้งยังมีกลิ่นเหม็นเขียว เป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ใน ผลิตภัณฑ์อาหาร

ซึ่งงานวิจัยมา การอบที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วย ไข่ ฝัอบแห้งที่ร้อยละ 5 นี้คล้ายกับงานวิจัยของ พลอยไพริณ สิทธิสาร และ วชิรพงศ์ เยาวฤทธิ์กร (2555) ที่ศึกษาเรื่องการ เสริมไข่ฝัในแครกเกอร์ พบว่า การเสริมสำหรับไข่ฝัที่ร้อยละ 15 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมในการประเมินคุณภาพทาง ประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวม โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 7.5, 7.7, 7.9, 7.8 และ 7.6 ซึ่งค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับความชอบมาก และงานวิจัย ของ กุลพร พุทธิมี และ วริศชนม์ นิลนนท์ (2564) ที่ศึกษาการ พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังเสริม ไข่ฝัอบแห้ง พบว่า ผลิตภัณฑ์ บะหมี่สดเสริมไข่ฝัร้อยละ 10 ได้รับการยอมรับทางประสาท สัมผัสจากผู้ทดสอบมากที่สุด โดยได้คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด อยู่ใน ระดับชอบปานกลาง

Table 6 Sensory evaluation results of macaron shells substituted of almond powder with 5 levels of dried watermeal.

Attribute	0%	10%	20%	30%	40%
Appearance	8.2 ± 1.1^a	7.1 ± 1.4^{bc}	7.4 ± 1.4^b	6.7 ± 1.4^c	5.2 ± 2.2^d
Color	7.9 ± 1.2^a	6.9 ± 1.3^b	7.4 ± 1.1^b	6.4 ± 1.6^c	5.1 ± 2.1^d
Taste	8.0 ± 1.1^a	6.8 ± 1.7^b	7.2 ± 1.6^b	6.1 ± 2.1^c	5.9 ± 2.0^c
Odor	7.9 ± 1.1^a	6.9 ± 1.7^b	6.7 ± 1.5^b	6.1 ± 1.9^c	5.7 ± 2.1^c
Texture	7.4 ± 1.5^a	6.5 ± 1.4^{bc}	6.6 ± 1.6^b	5.4 ± 2.1^d	5.9 ± 2.2^{cd}
Overall liking	8.0 ± 0.8^a	6.8 ± 1.2^b	7.1 ± 1.7^b	6.1 ± 1.7^c	5.7 ± 2.1^c

Annotation : Different letters in the same row means there is a statistically significant difference ($p\leq0.05$).

4. ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์มา การอบที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้ง

คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์มา การอบที่ ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งร้อยละ 5 เปรียบเทียบกับ สูตรควบคุม แสดงใน Table 7 พบว่า ผลิตภัณฑ์มา การอบที่ ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งร้อยละ 5 มีค่าความชื้น โยอาหาร และเถ้า มากกว่ามา การอบสูตรควบคุมแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 13.02 ± 0.20 1.14 ± 0.06 และ 1.42 ± 0.01 ตามลำดับ มา การอบ ที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งร้อยละ 5 มีปริมาณ ไขมันน้อยกว่ามา การอบสูตรควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากอัลมอนต์ป่นที่เป็น

วัตถุดิบหลักมีปริมาณไขมันสูงกว่าไข่ฝั โดยอัลมอนต์ 100 กรัม มีปริมาณไขมัน 49.42 กรัม (อธิป บุญศิริวิทย์, 2556) ใน ขณะที่ไข่ฝัอบแห้ง 100 กรัม มีปริมาณไขมัน 1.8-9.2 กรัม (กองโภชนาการ, 2544) จึงทำให้มา การอบสูตรควบคุมมี ปริมาณไขมันมากกว่ามา การอบที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ ฝัอบแห้งร้อยละ 5 ส่วนปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์ มา การอบ ที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝัอบแห้งร้อยละ 5 และมา การอบ สูตรควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้น การใช้ไข่ฝัอบแห้งแทนอัลมอนต์ป่นสามารถ ทดแทนปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ได้ อีกทั้งการใช้ไข่ฝัอบ แห้งทดแทนอัลมอนต์ป่นยังเป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารใน ผลิตภัณฑ์อีกด้วย ซึ่งคล้ายกับการทดลองของกุลพร พุทธิมี

และ วิเศษณ์ นิลนนท์ (2564) ที่ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ บะหมี่เสริมผ้าออบแห้ง พบว่า ผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมไข่ฝ้าย ร้อยละ 10 พบว่า มีปริมาณโปรตีน เส้นใย และเถ้า มากกว่า ผลิตภัณฑ์บะหมี่สูตรพื้นฐาน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 9.87 ± 0.06 0.53 ± 0.37 และ 2.02 ± 0.04 และคล้ายกับงานวิจัยของวัฒน์ บุญวิทยา และคณะ (2559) ที่ศึกษาผลของการเสริมไข่ฝ้ายต่อคุณภาพของซ็อกโกแลต ชิฟฟ์ฟีน พบว่า ผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลตชิฟฟ์ฟีนสูตรเสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 20 มีปริมาณโปรตีน เส้นใย และเถ้า มากกว่าผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลตชิฟฟ์ฟีนสูตรควบคุม โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.64 ± 0.22 , 1.56 ± 0.33 และ 2.06 ± 0.76 ตามลำดับ

Table 7 Comparison of the nutritional values of macaron products containing 20% watermeal and the control formula

Nutritional value	Macaron products	
	Control formula	20% water meal
(%)		
Moisture	12.08 ± 0.01^b	13.02 ± 0.20^a
Protein ^{ns}	7.85 ± 0.11	7.84 ± 0.03
Fat	27.11 ± 0.04^a	24.49 ± 0.01^b
Fiber	0.70 ± 0.04^b	1.14 ± 0.06^a
Ash	0.88 ± 0.01^b	1.42 ± 0.01^a

Annotation : Different letters in the same row means there is a statistically significant difference ($p \leq 0.05$).

^{ns} means there is no statistical significant difference ($p > 0.05$).

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาปริมาณไข่ฝ้ายที่ใช้ทดแทน อัลมอนต์ป่นในผลิตภัณฑ์มาการอง พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ้ายร้อยละ 5 มากที่สุด โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนเฉลี่ยในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.4 ± 1.4 , 7.4 ± 1.1 , 7.2 ± 1.6 , 6.7 ± 1.5 , 6.6 ± 1.7 และ 7.1 ± 1.7 ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์มาการองที่ทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยไข่ฝ้ายอบแห้งที่ร้อยละ 5 มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 70.79 ± 0.74 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 1.52 ± 0.17 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 12.90 ± 0.41 มีปริมาณน้ำอิสระ (a) เท่ากับ 0.70 ± 0.02 และมีคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 13.02 ± 0.20 , 7.84 ± 0.03 , 24.49 ± 0.01 , 1.14 ± 0.06 และ 1.42 ± 0.01 ตามลำดับ

จากการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้ 1) อาจนำไข่ฝ้ายมาใช้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่อื่น ๆ เช่น

คุกกี้ ขนมปัง และเค้ก เป็นต้น 2) ควรมีการศึกษาริจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้มีความเหมาะสม และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กองโภชนาการ. (2544). คุณค่าอาหารส่วนที่กินได้ 100 กรัมของฝ้าย. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- กุลพร พุทธิมี และ วิเศษณ์ นิลนนท์. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมผ้าออบแห้ง. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 16(2). 57-69.
- พลอยไพริน สิทธิสาร และ วชิรพงศ์ เยาวฤทธิ์กร. (2555). การเสริมสาหร่ายฝ้ายในแครกเกอร์. ปรินญาตรี โครงการพิเศษ สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- พิพัฒน์พงษ์ วงศ์ใหญ่ และ ศศิธร ชาววัลจันติก. (2554). เภสัช มช.วิจัย "ฝ้าย" ชี้อยอดแหล่งโปรตีนเพื่อสุขภาพ. สืบค้นจาก <https://www.thairath.co.th/content/224328>.
- ภาณุมาศ ทองคำ. (2562). ผลของอุณหภูมิต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในไข่ฝ้ายแห้งและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- วนิดา ปานอุทัย. (2563). ฝ้าย : พืชขนาดเล็กและแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อสุขภาพ. Food Journal, 50(4), 28-36.
- วนิดา บุรีภักดี, ชนยพร บุญศิริ, นรินทร์ภพ ช่วยการ และ ศิริวัลย์ พงษ์วิสัย. (2566). ผลของการใช้กากถั่วดาวอินคาทดแทนถั่วอัลมอนต์ป่นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาการอง. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 17(1), 1-13.
- วัฒน์ บุญวิทยา, นันทปภัทร์ ทองคำ และ ภาสกร ฤทธิเลิศ. (2559). ผลของการเสริมไข่ฝ้ายต่อคุณภาพของซ็อกโกแลตชิฟฟ์ฟีน. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 11(3), 41-53.
- ต้นศนี อุดมอ่าง. (2555). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การพัฒนาตำรับอาหารจากไข่ฝ้ายเพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์ระดับชุมชนและเชิงพาณิชย์. คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- สุขุม เร้าใจ และ สุทิน สมบูรณ์. (2550). การเพาะเลี้ยงไข่ฝ้าย (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) เพื่อใช้เป็นอาหารมนุษย์.

- วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 11(1), 116-132.
- อภิรดา พรปัญญา และ สุพรรณิการ์ กล่อมจอหอ. (2567). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมโปรตีนจากไข่น้ำ. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. 160-169.
- อริป บุญศิริวิทย์. (2556). การพัฒนาขนมอบจากไข่ขาวประเภทมาการองทดแทนผงอัลมอนต์ด้วยผง ถั่วลิสงและผงเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต.
- อุมาพร นิยะนุช และ รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย. (2553). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของไข่น้ำ. วารสาร วิทยาศาสตร์ เกษตร, 4(1) (พิเศษ), 247-250.
- อำพรณ ชัยกุลเสวีวัฒน์ และ ปิยะมาภรณ์ เอ็มเสม. (2550). การผลิตโยเกิร์ตเสริมไข่น้ำ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 3(1), 30-36.
- AOAC. (2016). Official methods of analysis of AOAC international (18th ed.). New York:
- Chamber IV, E. and M.B. Wolf. (1996). *Sensory Testing Methods*. ASTM International, U.S.A.
- Christophe, F. (2015). *Patisserie*. Rizzoli.
- José, M. (2010). *Secrets of Macarons*. Murdoch Book.
- Kemp, S.E., Hollowood, T. and Hort, J. (2009) *Sensory Evaluation: A Practical Handbook*.
- Hengsawad, D., 2002, Dietary fiber for health. *Food J.*, 32. 157-159.
- Herme, P. (2011). *Macarons*. Grub Street.
- Hoboken, N.J. (2011). *The professional chef*. 9th ed. John Wiley & Sons.
- Kakanang, P., Ratchadaporn, O., Arak, T., Jittra, S., Jirawan, O. and Anant, O. (2023). Optimum aquaculture and drying conditions for *Wolffia arrhiza* (L.) *Wimn. Heliyon*, 9. e19730.
- Ruekaewma, N., Piyatiratitivorakul, S. and Powtongsook, S. (2015). Culture system for *Wolffia globosa* L. (Lemnaceae) for hygiene human food, *Songklanakarin Journal Science*, 37, 575–580.
- Wu, A. (2012). Optimizing sugar ratios for macaroon taste and structure. *Food Science*, 1, (1-12).