

อิทธิพลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อการดูดซับน้ำมันและคุณภาพของโดนัท ที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

Effects of Hydrocolloids on Oil Uptake and Quality of Donuts Containing Riceberry Flour

สุพัตชนลี สิริโชควรakit^{1,*}, นันทพร อัครนิ¹, จรรยาพัฒน์ แสงสุวรรณ², จารุวรรณ ฉัตรทอง³

¹สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300

²สาขาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300

³สาขาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรมและนวัตกรรมชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300

Supatchalee Sirichokworakit^{1,*}, Nuntaporn Aukkanit¹,

Chanyapat Sangsuwan², Jaruwan Chutrtong³

¹Division of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,

Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok 10300

²Division of Science and Innovation, Faculty of Science and Technology,

Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok 10300

³Division of Food Industry Microbiology and Bioinnovation, Faculty of Science and Technology,

Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok 10300

Received 12 December 2023; Received in revised 25 June 2024; Accepted 8 July 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์โดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อการดูดซับน้ำมันและคุณภาพของโดนัท ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) และเมทิลเซลลูโลส (MC) ในการทดลองนี้ได้ศึกษาวิธีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการเคลือบผิว การเติมลงในส่วนผสม และการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน ผลการทดลองพบว่า สีของเนื้อมันในโดนัทที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ด้วยวิธีต่างๆ สว่างขึ้นเมื่อเทียบกับโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 (RB) การเคลือบโดนัทด้วย HPMC และ MC ก่อนทอดทำให้ปริมาณไขมันของโดนัทสูงที่สุด นอกจากนี้การเคลือบผิว การเติมลงในส่วนผสม และ

*ผู้รับผิดชอบบทความ: supatchalee.si@ssru.ac.th

doi: 10.14456/tstj.2024.45

การใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน ส่งผลให้คุณภาพทางเนื้อสัมผัสของโดนัท เช่น ความแข็ง การเกาะรวมตัว ความยืดหยุ่น และความคงทนต่อการเคี้ยว เทียบเท่ากับโดนัทสูตรแป้งสาลี (control) ($p>0.05$) ด้านการดูดซับน้ำมันและการสูญเสียน้ำของโดนัทพบว่า พบว่า การเติม MC และการเติมรวมถึงการเคลือบผิวด้วย HPMC ส่งผลให้การดูดซับน้ำมันของโดนัทต่ำที่สุด ขณะเดียวกันการเติมและการเคลือบผิวด้วย MC ส่งผลให้การสูญเสียความชื้นของโดนัทต่ำที่สุด การประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของโดนัทที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในรูปแบบต่างๆ ไม่แตกต่างจากโดนัท RB และโดนัทสูตรแป้งสาลี ($p>0.05$) ดังนั้นการใช้ไฮโดรคอลลอยด์สามารถลดการดูดซับน้ำมันและปรับปรุงคุณภาพของโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้

คำสำคัญ: โดนัท; ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส; เมทิลเซลลูโลส; การดูดซับน้ำมัน; แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

Abstract

This research aimed to investigate the effects of hydrocolloids on oil uptake and overall quality in donut products containing Riceberry flour. Two types of hydrocolloids, hydroxypropyl methyl-cellulose (HPMC) and methylcellulose (MC), were used in this experiment. The study explored different application methods: surface coating, adding the hydrocolloids into the batter, and a combination of both. The results revealed that using hydrocolloids significantly improved the crumb color compared to donuts made with 30% Riceberry flour (RB). Surface coating the donut with HPMC and MC before frying resulted in the highest specific volume among the methods tested. Additionally, the different application methods (surface coating, adding into the batter, and their combined use) did not significantly affect the texture attributes such as hardness, cohesion, elasticity, and chewiness, compared to the control donut ($p>0.05$). Regarding oil uptake and moisture loss, adding MC and surface coating with HPMC yielded the lowest oil uptake, while the combined approach of adding and surface coating with MC resulted in the least moisture loss. Sensory evaluation indicated that the overall liking scores for the donuts with hydrocolloids, regardless of the application method, were not significantly different from those of the RB and control donuts ($p>0.05$). In conclusion, the use of hydrocolloids can effectively reduce oil uptake and enhance the quality of donuts containing Riceberry flour.

Keywords: Donut; Hydroxypropyl methylcellulose; Methylcellulose; Oil uptake; Riceberry flour

1. บทนำ

โดนต์เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีรูปแบบที่หลากหลายสามารถดัดแปลงตกแต่งได้อย่างสวยงาม มีอัตราการเติบโตในตลาดพาสต์ฟูดอย่างต่อเนื่อง [1] โนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วม การทอดด้วยวิธีนี้ทำให้เปลือกนอกกรอบและเนื้อด้านในนุ่ม ส่งผลให้อาหารมีลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่น่ารับประทานในระหว่างการทอด น้ำในอาหารจะระเหยออกสู่ผิวด้านนอกอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดช่องว่างในแมทริกซ์ของอาหาร ซึ่งไขมันหรือน้ำมันจะสามารถแทรกซึมเข้าไปเติมเต็มช่องว่างเหล่านั้นได้ Oke และคณะ [2] รายงานว่าปริมาณน้ำมันรวมในอาหารทอดเกือบเท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปทั้งหมด ดังนั้นการบริโภคโดนต์ทำให้ได้รับปริมาณไขมันที่มากเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพได้ การลดการดูดซับน้ำมันในโดนต์จึงได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลายและได้มีการพัฒนาสูตรใหม่ๆ อยู่เสมอ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันในอาหาร เช่น คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอด ความชื้น ขนาด ชนิด องค์ประกอบรูปทรงและความพรุนของอาหาร [3] การเตรียมโดนต์ก่อนทอดจึงมีความสำคัญในการช่วยลดปริมาณการดูดซับน้ำมัน การลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โดนต์สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งชนิดอื่น [4] การเติมหรือเคลือบด้วยอนุพันธ์ของเซลลูโลสก่อนนำไปทอด [5] Han และคณะ [4] รายงานว่า การเติมแป้งข้าวโพดดัดแปลงแทนที่แป้งสาลีร้อยละ 20 ในผลิตภัณฑ์แป้งทอด สามารถลดการดูดซับน้ำมันและปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสได้ Adedeji และ Ngadi [6] รายงานว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าแทนที่แป้งสาลี สามารถลดการดูดซับน้ำมันในเบทเทอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การทดแทนนี้อาจส่งผลให้ความชื้นหนืดของเบทเทอร์ลดลง

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) และเมทิลเซลลูโลส (MC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสถูกใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากไม่มีสี กลิ่น และรสชาติ สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำได้ นอกจากนี้ยังมีหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลและเมทิลที่

ไม่ชอบน้ำเพื่อให้กระบวนการเคลือบผิวดีขึ้น [7] การใช้ HPMC และ MC รวมถึงไฮดรอกซีแอลกอฮอล์อื่นๆ เติมน้ำมันในส่วนผสมแป้งจะเพิ่มความสามารถในการกักเก็บความชื้นให้กับผลิตภัณฑ์ในขณะทอดและกีดขวางไม่ให้น้ำมันเข้ามาในช่องว่างที่ผิวหน้าของอาหารได้ ส่งผลให้การดูดซับน้ำมันลดลง [8] นอกจากนี้พบว่า การเคลือบผิวของแครกเกอร์ข้าวทอดกรอบด้วย MC ร้อยละ 2 ลดการดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 39.74 และเพิ่มการกักเก็บน้ำได้ร้อยละ 34.97 [9]

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่ได้จากการผสมกันระหว่างข้าวหอมนิลและข้าวหอมมะลิ 105 ทำให้ได้ข้าวที่มีคุณสมบัติ มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ แอนโทไซยานิน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสีและฟอสเฟต [10] ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค มะเร็ง ด้านการอักเสบของเนื้อเยื่อ [11] ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและวิธีการใช้ไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ ด้วยการเติม การเคลือบ และการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันต่อการดูดซับน้ำมันและคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของโดนต์ที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 การศึกษานี้มุ่งหวังที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่สนใจในผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและการบริโภคอาหารที่ปลอดภัยและมีคุณภาพ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่จากบริษัท เจียแม็งมาร์เก็ตตั้งจำกัด นำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (FRITSCH รุ่น PULVERISETTE 5 ประเทศเยอรมันนี) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 120 เมช องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้า เท่ากับ 10.94, 8.34, 0.91, 2.73 และ 1.13 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ บรรจุใส่ถุงสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จนกว่าจะนำมาใช้วิเคราะห์ค่าคุณภาพ HPMC และ MC ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท รามาโปรดักชั่น จำกัด แป้งสาลีอเนกประสงค์ยูเอฟเอ็มตราว่าว น้ำตาลทรายบดละเอียดตรามิตรผล เนยขาวตราครีมีท็อปป์ ไข่ไก่ตราซีพี ยีสต์ตราซาฟอินสแตนท์ นมผงตราแดรี่รีช และเกล็ดราปรุททิพย์

2.2 การผลิตโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

สูตรผลิตภัณฑ์โดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Sirichokworrakit และคณะ [12] ซึ่งเป็นสูตรที่มีคุณภาพที่ดีและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค การปรับปรุงปริมาณและวิธีการเตรียมไฮโดรคอลลอยด์ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Kim และคณะ [8] ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ HPMC และ MC การเคลือบสารละลาย HPMC และ MC ทำได้โดยใช้แปรงทาให้ทั่วผิวโดนัทก่อนนำไปทอด (ไฮโดรคอลลอยด์ 0.06 กรัม ผสมน้ำ 6.25 กรัม ได้สูตรโดนัท RBCH และ RBMC ตามลำดับ) การเติม HPMC และ MC ร้อยละ 5 ของน้ำหนักแป้ง โดยทดแทนลงในส่วนผสมของแป้งสาลี (ได้สูตรโดนัท RBH และ RBM ตามลำดับ) และการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน (ได้สูตรโดนัท RBHCH และ RBMCM ตามลำดับ) ดังนั้นได้สูตรผลิตภัณฑ์โดนัททั้งหมด 6 สูตร เปรียบเทียบการดูดซับน้ำมันและคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส กับโดนัทสูตรควบคุมซึ่งใช้แป้งสาลีเพียงชนิดเดียว (Control) และโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 (RB) สูตรโดนัททั้งหมดแสดงดัง Table 1 วิธีการผลิตเริ่มจากนำส่วนผสมที่เป็นของแห้ง ได้แก่ แป้ง น้ำตาล นมผง เกลือและยีสต์ ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำและน้ำลงไป ตีผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร (KitchenAid รุ่น Heavy duty Bowl-Lift 5 Quart ประเทศสหรัฐอเมริกา) เป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำขาวตีผสมต่อ 15 นาที จนเป็นก้อนโดที่เรียบเนียน นำก้อนโดมาพักให้คลายตัวเป็นเวลา 15 นาที และขึ้นรูปโดนัทโดยคลึงแป้งให้มีความหนา 1 เซนติเมตร ใช้พิมพ์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร น้ำหนักโดเท่ากับ 30.00 ± 0.50 กรัม หมักในตู้หมักโด (Smeg รุ่น LEV420XV ประเทศอิตาลี) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 นาน

30 นาที จนโดนัทมีขนาดเป็นสองเท่าของขนาดเริ่มต้น ทอดโดนัทในน้ำมันรำข้าวปริมาณ 1.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นพลิกอีกด้านหนึ่งของโดนัททอดต่อ 2 นาที จนกระทั่งโดนัทมีสีเหลืองทองและสุกพอดี นำมาพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำมัน และรอให้เย็น บรรจุใส่กล่องพลาสติกปิดสนิท กระบวนการผลิตโดนัทแสดงดัง Figure 1 เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องและนำไปศึกษาค่าคุณภาพด้านต่างๆ

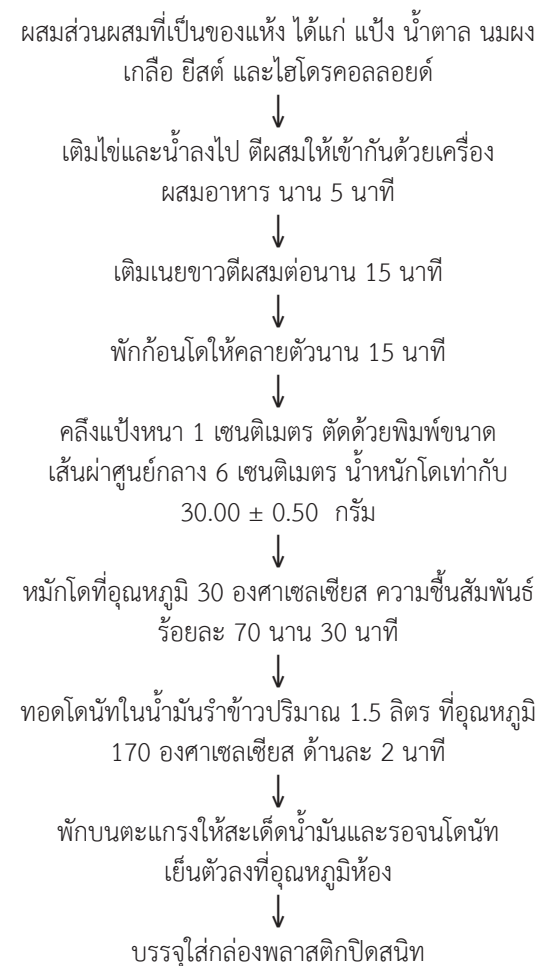


Figure 1 Donut production flow chart

Table 1 Formulas of donuts containing riceberry flour and various forms of hydrocolloids.

Ingredients	Formulas (g)							
	Control	RB	RBCH	RBCM	RBH	RBM	RBHCH	RBMCM
Wheat flour	100	70	70	70	65	65	65	65
Riceberry flour	0	30	30	30	30	30	30	30
Water	49	49	49	49	49	49	49	49
Sugar	8	8	8	8	8	8	8	8
Shortening	18	18	18	18	18	18	18	18
Skim milk	4	4	4	4	4	4	4	4
Egg	13	13	13	13	13	13	13	13
Yeast	2	2	2	2	2	2	2	2
Salt	1	1	1	1	1	1	1	1
HPMC	-	-	-	-	5	5	-	-
MC	-	-	-	-	-	-	5	5

Control means wheat flour donut

RB means donut containing 30% Riceberry flour

RBCH means donut containing 30% Riceberry flour coated with HPMC

RBCM means donut containing 30% Riceberry flour coated with MC

RBH means donut containing 30% Riceberry flour added with HPMC

RBM means donut containing 30% Riceberry flour added with MC

RBHCH means donut containing 30% Riceberry flour added and coated with HPMC

RBMCM means donut containing 30% Riceberry flour added and coated with MC

2.3 การวิเคราะห์ค่าสี

วัดค่าสีด้านนอกและเนื้อด้านในของโดนัทโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab, รุ่น Color Quest XE, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในระบบ CIE L*a*b* แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมสังเกตการณ์เท่ากับ 10 องศา

2.4 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ

วิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของโดนัท (V_s) ด้วยวิธีแทนค่าด้วยเมล็ดงาตัดแปลงตามวิธีของ Lu และคณะ [13] ด้วยการชั่งน้ำหนักโดนัทที่ผ่านการทอดและพักให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที (W) ในภาชนะอลูมิเนียมที่ทราบปริมาตร (V) เติมน้ำให้เต็มภาชนะและปาดเมล็ดงาส่วนเกินออก นำเมล็ดงาที่ได้วัดค่าปริมาตร (V_0) ทำการทดลอง 10 ซ้ำ คำนวณปริมาตรจำเพาะดังสมการที่ (1)

$$V_s = (V - V_0) / W \quad (1)$$

2.5 การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture analyzer (Lloyd Instrument, รุ่น TA plus, ประเทศอังกฤษ) ใช้โหลดเซลล์ขนาด 50 นิวตัน หัววัดทรงกระบอกขนาด 20 มิลลิเมตร กดลงบนเนื้อด้านในของโดนัทขนาด 20 × 20 × 20 มิลลิเมตร ที่ผ่านการทอดและพักให้เย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กดลงไปร้อยละ 50 ของความสูงโดนัทเริ่มต้น ด้วยอัตราเร็ว 2 มิลลิเมตร/วินาที ประเมินค่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง การเกาะรวมตัว ความยืดหยุ่น และการทนต่อการเคี้ยว

2.6 การวิเคราะห์การดูดซับน้ำมันและการสูญเสียความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันด้วยวิธี AOAC (2012) [14] จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์การดูดซับน้ำมันและการสูญเสียความชื้นในระหว่างกระบวนการทอด โดยอ้างอิงวิธีของ Kim และคณะ [8] การคำนวณสามารถดำเนินการได้ดังสมการที่ (2) และ (3)

	การดูดซับน้ำมัน (กรัม/100 กรัม)	=	$[(WD \times FD) - (Wd \times Fd)] / (WD \times FD) \times 100$	(2)
	การสูญเสียความชื้น (กรัม/100 กรัม)	=	$[(Wd \times Md) - (WD \times MD)] / (Wd \times Md) \times 100$	(3)
เมื่อ	WD เท่ากับ น้ำหนักของโดนัท (กรัม)		Wd เท่ากับ น้ำหนักของโด (กรัม)	
	FD เท่ากับ ปริมาณไขมันของโดนัท (กรัม)		Fd เท่ากับ ปริมาณไขมันของโด (กรัม)	
	MD เท่ากับ ปริมาณความชื้นของโดนัท (กรัม)		Md เท่ากับ ปริมาณความชื้นของโด (กรัม)	

2.7 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยวิธี 9-point hedonic scale ดำเนินการกับกลุ่มผู้บริโภคที่รับประทานโดนัทเป็นประจำ จำนวน 60 คน โดยผู้ทดสอบมีอายุระหว่าง 18-60 ปี มีสุขภาพดี และไม่ได้รับการฝึกฝนทางด้านการประเมินทางประสาทสัมผัสมาก่อน คุณลักษณะที่ถูกประเมินประกอบด้วย สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ด้วยการใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ค่าสีของโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

ค่าสีของโดนัทแสดงดัง Table 2 พบว่า ค่าสีเปลือกนอกของโดนัทมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโดนัท RBCH มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดและไม่แตกต่างจากโดนัทสูตรควบคุม ค่าความเข้มสีแดง (a^*) พบว่า โดนัท RBCH มีค่าต่ำที่สุด

ส่วนโดนัทสูตรอื่นๆ มีค่าความเป็นสีแดงที่ไม่แตกต่างกัน ค่าความเข้มสีเหลือง (b^*) พบว่า โดนัทที่เคลือบผิวและเติมด้วย HPMC และ MC มีค่าความเข้มสีเหลืองเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามโดนัท RBCH กลับมีค่าความเข้มสีเหลืองต่ำที่สุดในบรรดาโดนัททั้งหมด ในระหว่างการทอดเกิดปฏิกิริยาหลายชนิดที่ส่งผลต่อค่าสี รวมถึงการเสียสภาพของโปรตีน การเกิดเจลของแป้ง และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล การใช้ไฮโดรคอลลอยด์เคลือบผิวทำให้เกิดฟิล์มที่ช่วยกระจายน้ำตาลและน้ำมันบนผิวโดนัทอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกนอกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเมลลาร์ด [15] ด้านค่าสีของเนื้อด้านในโดนัทมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่า การเคลือบผิวและการเติม HPMC และ MC ในโดนัทส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าความเข้มสีเหลือง และค่าความเข้มสีแดง เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับโดนัท RB ยกเว้นในกรณีของโดนัท RBCH และ RBCM ดังนั้นการเติมและการเคลือบผิวโดนัทด้วย HPMC และ MC สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านสีของโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ เนื่องจาก HPMC และ MC มีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้สูง ทำให้ปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดลดลง ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น [16]

Table 2 Crust and crumb color values of donuts containing Riceberry flour in various formulas

Formulas	Crust color values			Crumb color values		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Control	41.63 ± 1.78 ^a	9.03 ± 1.44 ^a	16.17 ± 1.29 ^a	54.24 ± 1.71 ^a	1.13 ± 0.03 ^c	8.62 ± 0.63 ^a
RB	37.86 ± 1.62 ^{bc}	6.97 ± 0.06 ^{ab}	8.09 ± 0.81 ^b	38.89 ± 0.45 ^c	6.34 ± 0.72 ^b	6.93 ± 0.35 ^c
RBCH	40.38 ± 0.49 ^{ab}	6.00 ± 0.51 ^b	7.29 ± 1.52 ^b	43.95 ± 1.50 ^b	6.24 ± 0.41 ^b	7.03 ± 0.45 ^{bbc}
RBCM	40.10 ± 1.41 ^{abc}	7.92 ± 0.09 ^{ab}	9.75 ± 0.78 ^b	41.88 ± 2.06 ^b	6.26 ± 0.55 ^b	7.22 ± 0.67 ^{bc}
RBH	36.42 ± 2.62 ^c	8.36 ± 1.81 ^a	10.34 ± 2.63 ^b	42.94 ± 0.71 ^b	7.08 ± 0.16 ^a	7.85 ± 0.21 ^b
RBM	36.67 ± 2.60 ^{bc}	8.79 ± 1.41 ^a	11.56 ± 1.98 ^b	43.48 ± 1.87 ^b	6.82 ± 0.27 ^{ab}	7.59 ± 0.10 ^{bc}
RBHCH	37.71 ± 2.35 ^{bc}	8.57 ± 1.19 ^a	11.10 ± 2.18 ^b	43.30 ± 2.05 ^b	6.85 ± 0.20 ^{ab}	7.52 ± 0.51 ^{bc}
RBMCM	37.62 ± 1.82 ^{bc}	8.40 ± 0.81 ^a	10.54 ± 1.75 ^b	43.86 ± 2.06 ^b	6.84 ± 0.08 ^{ab}	7.52 ± 0.16 ^{bc}

Different superscript letters in each column indicate significantly different ($p \leq 0.05$)

3.2 ปริมาตรจำเพาะและคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

ปริมาตรจำเพาะของโดนัทเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าโดนัทมีการขยายตัวที่ดีในระหว่างการทอดหรือไม่ โดยทั่วไปจะสัมพันธ์กับคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ค่าปริมาตรจำเพาะและคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของโดนัทแสดงดัง Table 3 พบว่าปริมาตรจำเพาะของโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่และใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับโดนัท RB โดยเฉพาะโดนัท RBCM และ RBCH มีค่าปริมาตรจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 3.58 และ 3.52 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเทียบเท่ากับโดนัทสูตรควบคุม ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sabanis และ Tzia [17] ซึ่งพบว่าการเติม HPMC ในขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวช่วยเพิ่มการกักเก็บก๊าซในขนมปัง ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพิ่มขึ้นและความแข็งแรงของ

ขนมปังลดลง การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของโดนัทเพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถในการกักเก็บก๊าซ โดยทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติที่ชอบน้ำและมีหมู่ที่ไม่ชอบน้ำยังส่งผลต่อส่วนผสมในระหว่างการผสมและการพักแป้ง รวมทั้งการสร้างเครือข่ายเจลเมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการทอด เครือข่ายเหล่านี้ช่วยเพิ่มความหนืดและเสริมความแข็งแรงของเซลล์ที่ขยายตัวภายในแป้ง ทำให้การกักเก็บก๊าซในระหว่างการทอดดีขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรของโดนัทดีขึ้น [18] ด้านเนื้อสัมผัสของโดนัทพบว่าการใช้ HPMC และ MC ทำให้โดนัทมีความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และความคงทนต่อการเคี้ยวไม่แตกต่างจากโดนัทสูตรควบคุม ส่วนค่าการเกาะรวมตัวของโดนัทก็ให้ผลเช่นเดียวกัน ยกเว้นโดนัท RBCM ให้ค่าการเกาะรวมตัวกันต่ำที่สุด (0.37) จะเห็นได้ว่า HPMC และ MC สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของโดนัทดีขึ้นได้ โดยโดนัทที่ได้มีความนุ่มและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับโดนัท RB สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Sabanis และ Tzia [17] ที่พบว่าการใช้ HPMC ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเพิ่มขึ้นและช่วยเพิ่มคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้นได้และการเติม HPMC และ MC เพียงอย่างเดียว ทำให้การเกาะรวมตัวกันของโดนัทเพิ่มขึ้นกว่าวิธีอื่นๆ

Table 3 Texture characteristics of donuts containing Riceberry flour in various formulas

Formulas	Specific value (g/cm ³)	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness index	Chewiness (N)
Control	3.21 ± 0.49 ^a	3.48 ± 0.19 ^b	0.43 ± 0.02 ^{ab}	0.87 ± 0.12 ^{ab}	1.44 ± 0.17 ^{ab}
RB	1.89 ± 0.10 ^c	4.93 ± 0.50 ^a	0.40 ± 0.02 ^{bc}	0.74 ± 0.07 ^b	1.58 ± 0.11 ^{ab}
RBCH	3.52 ± 0.30 ^a	3.61 ± 0.47 ^b	0.41 ± 0.04 ^{abc}	0.88 ± 0.07 ^a	1.48 ± 0.25 ^{ab}
RBCM	3.58 ± 0.56 ^a	3.20 ± 0.27 ^b	0.37 ± 0.03 ^c	0.85 ± 0.08 ^{ab}	1.30 ± 0.13 ^b
RBH	2.48 ± 0.14 ^b	3.69 ± 0.21 ^b	0.45 ± 0.03 ^a	0.86 ± 0.03 ^{ab}	1.67 ± 0.10 ^a
RBM	2.97 ± 0.43 ^b	3.57 ± 0.29 ^b	0.43 ± 0.01 ^{ab}	0.83 ± 0.04 ^{ab}	1.71 ± 0.11 ^a
RBHCH	2.81 ± 0.26 ^b	3.38 ± 0.48 ^b	0.39 ± 0.03 ^{bc}	0.85 ± 0.01 ^{ab}	1.52 ± 0.17 ^{ab}
RBMCM	2.50 ± 0.34 ^b	3.41 ± 0.21 ^b	0.42 ± 0.01 ^{abc}	0.86 ± 0.02 ^{ab}	1.64 ± 0.11 ^a
RBMCM	2.50 ± 0.34 ^b	3.41 ± 0.21 ^b	0.42 ± 0.01 ^{abc}	0.86 ± 0.02 ^{ab}	1.64 ± 0.11 ^a

Different superscript letters in each column indicate significantly different ($p \leq 0.05$)

3.3 ปริมาณไขมันและความชื้นของโดและโดนัท

ปริมาณไขมันและความชื้นของโดและโดนัทแสดงดัง Table 4 พบว่าปริมาณไขมันของโดที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่อยู่ในช่วง 15.24 - 17.34 กรัม/100 กรัม หลังจากทอดโดนัทแล้วพบว่า โดนัทสูตรควบคุมมีปริมาณไขมันสูงที่สุด โดนัท RB และโดนัทที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์มีปริมาณไขมันที่ต่ำกว่าโดนัทสูตรควบคุม ซึ่งอยู่ระหว่าง 28.57 - 38.90 กรัม/100 กรัม นอกจากนี้การใช้ HPMC และ MC ทำให้ปริมาณไขมันในโดนัทลดลง โดยโดนัท RBHCH, RBM และ RBMCM มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการเติม HPMC หรือ MC ร่วมกับการเคลือบด้วย HMPG และ MC จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไขมันในระหว่างกระบวนการทอดมากกว่าการเติมหรือเคลือบเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim และคณะ [8] ที่ศึกษาโดนัทถั่วเหลืองปราศจากกลูเตนเติม HPMC และเคลือบสารละลาย HPMC พบว่าสามารถลด

ปริมาณไขมันของโดนัทได้ การลดลงของปริมาณไขมันในโดนัทเมื่อใช้ HPMC และ MC มีสาเหตุมาจากคุณสมบัติการเกิดเจลของสารทั้งสองเมื่อได้รับความร้อน เจลที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกัน ลดการดูดซับน้ำมันเข้าสู่โดนัทระหว่างการทอดได้ นอกจากนี้ HPMC และ MC ยังสร้างโครงสร้างโพลีเมอร์ที่เหนียวแน่น ซึ่งช่วยป้องกันน้ำมันไม่ให้ซึมเข้าสู่ภายในผลิตภัณฑ์ [16] ด้านความชื้นของโดนัทพบว่า ปริมาณความชื้นของโดแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 มีความชื้นต่ำกว่าโดสูตรควบคุม และหลังจากทอดโดนัทสูตรควบคุมมีความชื้นลดลงร้อยละ 20 โดนัท RB ลดลงร้อยละ 16 และโดนัทที่เติมและเคลือบ HPMC และ MC ลดลงน้อยกว่าโดนัททั้งสองโดยโดนัท RBH และ RBMCM มีความชื้นสูงที่สุด เนื่องจาก HMPG และ MC มีคุณสมบัติช่วยชะลอการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน HPMC และ MC จะจับตัวกับน้ำและสร้างเจลเป็นโครงข่ายช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ [5]

Table 4 Moisture and fat contents of doughs and donuts containing Riceberry flour in various formulas

Formulas	Fat content (g/100 g)		Moisture content (g/100 g)	
	Dough	Donut	Dough	Donut
Control	16.58 ± 0.47 ^b	53.19 ± 0.12 ^a	35.31 ± 0.23 ^a	15.26 ± 0.21 ^f
RB	17.34 ± 0.08 ^a	38.90 ± 0.28 ^b	33.12 ± 0.01 ^d	17.48 ± 0.08 ^e
RBCH	16.80 ± 0.14 ^b	36.43 ± 0.33 ^c	33.38 ± 0.06 ^c	18.77 ± 0.19 ^d
RBCM	16.32 ± 0.27 ^b	34.72 ± 0.76 ^d	34.40 ± 0.07 ^b	19.69 ± 0.18 ^c
RBH	16.55 ± 0.25 ^b	33.43 ± 0.21 ^d	34.23 ± 0.07 ^b	21.15 ± 0.12 ^a
RBM	16.28 ± 0.26 ^b	29.24 ± 1.79 ^e	34.44 ± 0.19 ^b	20.36 ± 0.14 ^b
RBHCH	16.47 ± 0.24 ^b	28.57 ± 1.23 ^e	31.56 ± 0.14 ^f	19.55 ± 0.25 ^c
RBMCM	15.24 ± 0.26 ^c	29.28 ± 0.53 ^e	32.54 ± 0.21 ^e	21.42 ± 0.24 ^a

Different superscript letters in each column indicate significantly different ($p \leq 0.05$)

3.4 การดูดซับน้ำมันการสูญเสียความชื้นของโดนัท

การดูดซับน้ำมันและการสูญเสียความชื้นของโดนัทแสดงดัง Figure 2 โดนัท RB และโดนัทที่ใช้ HPMC และ MC มีค่าการดูดซับน้ำมันต่ำกว่าโดนัทสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากแป้งสาลีเมื่อผสมกับน้ำจะเกิดกลูเตนซึ่งสามารถดูดซับน้ำและน้ำมันได้มากในระหว่างการทอด ในขณะที่แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่มีกลูเตนและมีสัดส่วนของอะมิโลสที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับแป้งสาลี อะมิโลสมีแนวโน้มที่จะสร้างโครงสร้างที่แข็งแรงในระหว่างการทอด ทำให้การดูดซับน้ำมันน้อยลง [17] นอกจากนี้การเติมและการเคลือบ HPMC และ MC ส่งผลให้การดูดซับน้ำมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโดนัท RBHCH และ RBM ดูดซับน้ำมันต่ำที่สุด (44.86 และ 45.75 กรัม/100 กรัม) รองลงมาคือ โดนัท RBMCM และ RBH (49.62 และ 51.79 กรัม/100 กรัม) โดยการเติม HPMC และ MC จะทำให้

เกิดการสร้างฟิล์มกั้นน้ำมันไม่ให้ซึมเข้าสู่พื้นผิวของอาหาร นอกจากนี้การเคลือบผิวด้วยสารทั้งสองช่วยปิดรูพรุนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของโดนัท ส่งผลต่อการดูดซับน้ำมันที่ลดลง [8] การสูญเสียความชื้นระหว่างการทอดโดนัทยังสัมพันธ์กับการดูดซับน้ำมันด้วย โดยพบว่าโดนัทที่มีการสูญเสียความชื้นมากจะส่งผลให้มีการดูดซับน้ำมันที่มากขึ้น ดัง Figure 2 โดนัท RBMCM มีการสูญเสียความชื้นน้อยที่สุด (31.95 กรัม/100 กรัม) รองลงมาคือ โดนัท RBM (35.23 กรัม/100 กรัม) สอดคล้องกับ Primo-Martín และคณะ [19] ที่พบว่า การเติม MC และ HPMC ในผลิตภัณฑ์ขนมทอดกรอบช่วยลดการสูญเสีย น้ำ และลดการดูดซับน้ำมัน โดย HPMC และ MC จะก่อตัวเป็นเจลที่อุณหภูมิสูงและเจลนี้ป้องกันการสูญเสียความชื้นได้

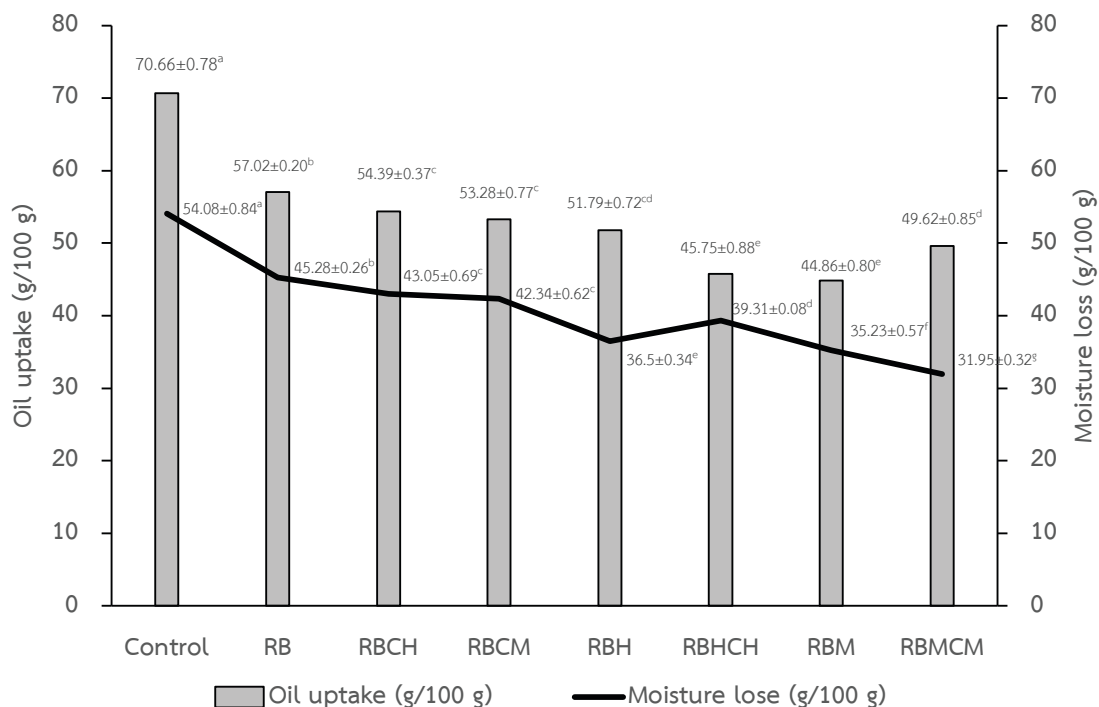


Figure 2 Oil uptake and moisture loss of donut containing Riceberry flour in various formulas
Different superscript letters in each treatment indicate significantly different ($p \leq 0.05$)

3.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโดนัทแสดงดัง Table 5 พบว่า คุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับโดนัทสูตรควบคุม ในขณะที่คะแนนความชอบของโดนัทที่ใช้ HMPC และ MC มีแนวโน้มที่จะได้รับคะแนนด้านต่างๆ เพิ่มขึ้น คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของโดนัท พบว่าโดนัทที่ใช้ HMPC และ MC ได้รับคะแนนความชอบมากกว่าโดนัท RB และไม่แตกต่าง

จากโดนัทสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าความแข็งและปริมาตรจำเพาะของโดนัทตาม Table 3 ที่แสดงให้เห็นว่า การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ช่วยลดความแข็งของโดนัทและเพิ่มปริมาตรจำเพาะ ทั้งนี้โดนัทสูตร RBCM ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงที่สุด แสดงถึงผลที่ดีของการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการพัฒนาคุณภาพของโดนัทที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

Table 5 Sensory evaluation of donuts containing Riceberry flour in various formulas

Formulas	Color ^{ns}	Odor ^{ns}	Taste ^{ns}	Texture	Overall liking ^{ns}
Control	7.15 ± 0.89	6.69 ± 0.95	6.77 ± 1.23	7.92 ± 0.95 ^a	7.54 ± 0.78
RB	6.62 ± 0.96	6.15 ± 1.86	6.46 ± 1.89	6.46 ± 1.90 ^b	6.77 ± 1.36
RBCH	6.77 ± 1.09	6.85 ± 0.80	6.76 ± 1.16	7.54 ± 0.88 ^a	7.23 ± 0.60
RBCM	6.77 ± 1.03	6.92 ± 0.86	6.92 ± 1.11	7.61 ± 0.77 ^a	7.54 ± 0.77
RBH	6.69 ± 1.18	6.69 ± 1.25	7.00 ± 1.00	7.31 ± 1.11 ^{ab}	7.23 ± 0.83
RBM	6.76 ± 1.36	7.00 ± 1.22	6.84 ± 1.14	7.38 ± 0.65 ^a	7.46 ± 0.66
RBHCH	7.15 ± 1.07	6.92 ± 1.12	6.69 ± 1.44	7.46 ± 1.27 ^a	7.46 ± 1.05
RBMCM	7.38 ± 1.04	7.23 ± 1.17	7.31 ± 1.11	7.15 ± 0.55 ^{ab}	7.38 ± 1.04

Different superscript letters in each column indicate significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns} means not statistically significant ($p > 0.05$)

4. สรุป

การศึกษาผลของการใช้ HPMC และ MC ในโดนต์ที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยวิธีการเคลือบผิว การเติมลงในส่วนผสม และการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน ส่งผลต่อคุณภาพด้านสี โดยทำให้สีเปลี่ยนนอกของโดนต์เข้มขึ้นและสีเนื้อด้านในสว่างขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโดนต์ที่ไม่ได้ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในโดนต์ช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ลดการดูดซับน้ำมัน และลดการสูญเสียความชื้น รวมทั้งสามารถปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสได้ ทั้งนี้การเคลือบผิวของโดนต์ก่อนทอดด้วย HPMC และ MC สามารถเพิ่มปริมาตรจำเพาะได้มากกว่าการเติม HPMC และ MC ลงในแป้งโดนต์ ในขณะที่โดนต์ที่เติมและเคลือบผิวด้วย HPMC และ MC สามารถลดการดูดซับน้ำมันและการสูญเสียความชื้นได้มากกว่าการเคลือบผิวเพียงอย่างเดียว ผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าโดนต์ที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยการใช้ไฮโดรคอลลอยด์เป็นทางเลือกที่ดีและเหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา (COE.1-019/2024) และขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

6. References

- [1] Butkaeng, W., Phromma, N., Thipnate, P. and Sukhonthara, S., 2022, Development of Palm Sugar and Palmyra Palm Doughnut, Journal of Science Engineering and Technology Rajabhat Maha Sarakham University. 1(3): 1-12. (in Thai)
- [2] Oke, E. K., Idowu, M. A., Sobukola, O. P., Adeyeye, S. A. O., and Akinsola, A. O., 2018, Frying of Food: a Critical Review, Journal of Culinary Science & Technology. 16(2): 107-127.

- [3] Bouchon, P., 2009, Understanding Oil Absorption During Deep-Fat Frying, *Advances in Food and Nutrition Research*. 57: 209-234.
- [4] Han, J. A., Lee, M. J. and Lim, S. T., 2007, Utilization of Oxidized and Cross-Linked Corn Starches in Wheat Flour Batter, *Cereal Chemistry*. 84(6): 582-586.
- [5] Chen, H. H., Kang, H. Y. and Chen, S. D., 2008, The Effects of Ingredients and Water Content on the Rheological Properties of Batters and Physical Properties of Crusts in Fried Foods, *Journal of Food Engineering*. 88(1): 45-54.
- [6] Adediji, A. A., and Ngadi, M. O., 2011, Microstructural Properties of Deep-Fat Fried Chicken Nuggets Coated with Different Batter Formulation, *International Journal of Food Properties*. 14(1): 68-83.
- [7] Ngatirah, N., Ruswanto, A. and Sunardi, S., 2022, Effect of Hydroxypropyl Methylcellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunch on Oil Uptake and Physical Properties of French Fries, *Food Science and Technology*. 42: e110421.
- [8] Kim, J., Choi, I., Shin, W. K. and Kim, Y., 2015, Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut, *LWT-Food Science and Technology*. 62(1): 620-627.
- [9] Aukkanit, N., Naowakul, J. and Jamsang, U., 2019, Reducing of Oil Uptake in Rice Cracker During Deep Fat Frying, In *Advances in Interdisciplinary Practice in Industrial Design*, Proceedings of the AHFE 2018 International Conference on Interdisciplinary Practice in Industrial Design, July 21-25, 2018, Loews Sapphire Falls Resort at Universal Studios, Orlando, Florida, USA 9 (pp. 122-129). Springer International Publishing.
- [10] Vanavichit, A., 2021, Riceberry Rice; Thailand's Antioxidant-Packed Nutraceutical and Super Food, Retrieved from <https://researchoutreach.org/wpcontent/uploads/2020/02/Apichart-Vanavichit.pdf>, 13 July 2021.
- [11] Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S. and Wanavijitr, A., 2011, Chemopreventive Properties of the Bran Extracted from a Newly-Developed Thai Rice: The Riceberry, *Food Chemistry*. 125(3): 978-985.
- [12] Sirichokworakit, S., Intasen, P. and Angkawut, C., 2016, Quality of Donut Supplemented with Hom Nin Rice Flour, *International Journal of Nutrition and Food Engineering*. 10(7). 443-446.
- [13] Lu, T. M., Lee, C. C., Mau, J. L., and Lin, S. D., 2010, Quality and Antioxidant Property of Green Tea Sponge Cake, *Food Chemistry*. 119(3): 1090-1095.
- [14] Association of Official Analytical Chemists, 2012, *Official Methods of Analysis of the Association of the Official Analysis Chemists*. AOAC International, Maryland, USA.

- [15] Das, R., Pawar D. P., and Modi, V. K., 2013, Quality Characteristics of Battered and Fried Chicken: Comparison of Pressure Frying and Conventional Frying, *Journal of Food Science and Technology*. 50: 284-292.
- [16] Jamshidi, A. and Shabanpour, B., 2014, The Effect of Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC) Added Pre-dust and Batter of Talang Queenfish (*Scomberoides commersonianus*) Nuggets on the Quality and Reduction of Oil Uptake, *Minerva Biotechnologica*. 26(1): 57-64.
- [17] Sabanis, D., and Tzia, C., 2011, Effect of Hydrocolloids on Selected Properties of Gluten-free Dough and Bread, *Food Science and Technology International*. 17(4): 279-291.
- [18] Mahmood, K., Kamilah, H., Shang, P. L., Sulaiman, S., and Ariffin, F., 2017, A Review: Interaction of Starch/Non-Starch Hydrocolloid Blending and the Recent Food Applications, *Food Bioscience*. 19: 110-120.
- [19] Primo-Martín, C., Sanz, T., Steringa, D. W., Salvador, A., Fiszman, S. M. and Van Vliet, T., 2010, Performance of Cellulose Derivatives in Deep-Fried Battered Snacks: Oil Barrier and Crispy Properties, *Food Hydrocolloids*. 24(8): 702-708.