

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia*) Development of Japanese rice cracker mixed with macadamia (*Macadamia integrifolia*) nut crumb

กฤษณกัณฑ์ ภาโพธิรัตน์¹, ชญานิน วังตาล^{1*}, รักชนก อินจันทน์¹, ชุตติภัสร์ เรืองวุฒิ¹, วาสนา ดิวงส์¹
และ สุรพงษ์ วงษ์ปาน²

Kritsanakan Phaphothirat¹, Chayanin Wangtan^{1*}, Rakchanok Inchan¹, Chutipat Ruangwut¹,
Wassana Tiwong¹ and Surapong Wongpan²

Received: 11 January 2025 ; Revised: 10 March 2025 ; Accepted: 18 April 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมีย โดยผลของอุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70°C และปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย 20%, 30% และ 40% ของน้ำหนักแป้งข้าวเหนียว ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอบแห้งอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง ในขณะที่ค่าความเข้มของสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ค่า Water Activity (a_w) และค่าความชื้นลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ด้านคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียไม่มีผลต่อค่าความแข็ง (Hardness) และความสามารถแตกกระจาย (Fracturability) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าเศษร่วนแมคคาเดเมียที่มากขึ้นทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แน่นขึ้นเล็กน้อย ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9-Point Hedonic Scale พบว่าปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียมีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อรสชาติและลักษณะปรากฏ ($p \leq 0.05$) ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นที่ใช้เศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% อบแห้งอุณหภูมิ 70°C มีคะแนนสูงสุดด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม แต่คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับข้าวอบกรอบญี่ปุ่นที่ใช้เศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% อบแห้งอุณหภูมิ 60°C ซึ่งได้รับการยอมรับในระดับปานกลางถึงดีเช่นเดียวกัน เนื่องจากได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ในระดับที่ดีแต่ใช้พลังงานน้อยลง เหมาะแก่การผลิตในเชิงพาณิชย์ โดยคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมีย 100 กรัม ให้พลังงานทั้งหมด 475 กิโลแคลอรี

คำสำคัญ: แมคคาเดเมีย, ข้าวอบกรอบญี่ปุ่น, การพัฒนาผลิตภัณฑ์

Abstract

This research develops a Japanese rice cracker (JRC) mixed with macadamia nut crumb (MNC). The results of drying temperatures at 50°C, 60°C, and 70°C, as well as proportions of MNC at 20%, 30%, and 40%, that affect the physical, chemical, sensory quality, and nutritional values of the product show that an increase in drying temperature decreases the lightness (L*) and increases the redness (a*) and yellowness (b*) significantly ($p \leq 0.05$). Additionally, water activity (a_w) and moisture decrease as the drying temperature increases ($p \leq 0.05$). Regarding physical properties, drying temperature does not significantly affect the hardness or fracturability of the products ($p > 0.05$), but the increase in MNC proportion slightly tends to increase product hardness. The 9-point hedonic scale sensory test indicates that the amount of MNC significantly affects the color, odor, and taste of the product ($p \leq 0.05$), while the drying temperature

¹ แผนกวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

² สาขาวิชาการจัดการการค้าสมัยใหม่ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

¹ Department of Home Economics, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University

² Modern Trade Management Program, Faculty of Management Science, Chiang Rai Rajabhat University

* Corresponding author, e-mail: Chayanin.wan@crju.ac.th

significantly affects the taste and appearance of the product ($p \leq 0.05$). The JRC with 40% MNC and a drying temperature of 70°C has the highest scores for color, odour, taste, and overall quality, but this is not significantly different from the version with 40% MNC and a drying temperature of 60°C ($p > 0.05$), which also scores as good-to-normal and is more preferable for commercial production due to lower energy usage. The nutritional value of 100 grams of the product provides 475 kilocalories.

Keywords: Macadamia, Japanese rice cracker, product development

บทนำ

แมคคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia*) เป็นไม้ผลยืนต้นประเภทไม้ผลัดใบ เปลือกนอกสีเขียวเมื่อลอกเปลือกนอกออกจะเป็นเมล็ดสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะแข็งมาก เรียกว่า “นัท” เป็นถั่วเปลือกแข็ง เนื้อในมีสีขาวปนเหลือง มีรสชาติที่ละเอียดอ่อนเหมือนเนย มีเนื้อครีม (Moreno-Perez *et al.*, 2011) มีการดะมิโนที่จำเป็นและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสูง (Bailey & Stein, 2020; Hu *et al.*, 2019) อีกทั้งมีการดโอเลอิก ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการสังเคราะห์กรดไขมันและคอเลสเตอรอลที่มีศักยภาพซึ่งมีส่วนทำให้กรดไขมันมากกว่า 70% ทั้งหมด กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้สามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ จึงลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ (Garg *et al.*, 2003) ในประเทศไทยพื้นที่ปลูกแมคคาเดเมียส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในภาคเหนือ เนื่องจากแมคคาเดเมียมีการดโอเลอิกในปริมาณสูง ซึ่งดีต่อสุขภาพราคาของแมคคาเดเมียจึงมีราคาสูงอยู่เสมอ ราคาของแมคคาเดเมียโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเป็นส่วนประกอบในอาหารแปรรูปต่างๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ขนม (ทัทยา อนุสร, 2555) จึงเป็นที่นิยมของผู้รักสุขภาพ ปัจจุบันแมคคาเดเมียจึงถูกนำมาแปรรูปหลากหลายชนิด

จังหวัดเชียงรายเป็นเมืองเกษตรกรรมเป็นเมืองพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์จากทรัพยากรดินน้ำ และอากาศ ซึ่งส่งผลให้สามารถปลูกพืชได้หลายชนิด โดยแมคคาเดเมียเป็นพืชเศรษฐกิจในภาคของจังหวัดเชียงรายซึ่งมีมูลค่าส่งออกถึง 1,325,169 กิโลกรัม ซึ่งเป็นมูลค่ากว่า 188 ล้านบาท (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงราย, 2565) เช่นเดียวกับพื้นที่บ้านดอยช้าง ตำบลาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย พื้นที่ดังกล่าวเหมาะสมในการปลูกแมคคาเดเมียเพราะมีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่น้อยกว่า 700 เมตร มีแหล่งน้ำที่สามารถให้น้ำได้ตลอดทั้งปี ดินเป็นดินโปร่งสามารถระบายน้ำได้ดี สภาพอากาศที่เหมาะสมในการปลูกแมคคาเดเมีย จึงมีการปลูกแมคคาเดเมียเป็นเป็นร่วมเงาให้ต้นกาแฟ (พิมพ์ใจ ทรงประโคน, 2562) โดยปัจจุบันในพื้นที่บ้านดอยช้างมีการรับซื้อแปรรูปและแปรรูปเป็นเมล็ดแมคคาเดเมียอบแห้งบรรจุถุง การแปรรูปแมคคาเดเมียมักมีปัญหาการเกิดเศษร่วนจากการกะเทาะเปลือก การคัดเลือกคุณภาพ ซึ่งก่อให้เกิดเศษร่วนแมคคาเดเมียจำนวนมาก เช่น เมล็ดแตกหัก

เป็นชิ้นเล็ก เมล็ดแตกหักเป็นชิ้นเกล็ด หรือเมล็ดแตกหักละเอียด ส่งผลให้ไม่สามารถนำไปจำหน่ายได้ และเศษร่วนดังกล่าวมักเป็นอาหารสัตว์

ผลิตภัณฑ์ขนมข้าวอบกรอบญี่ปุ่นเป็นขนมพื้นเมืองที่มีข้าวเป็นวัตถุดิบหลัก มีต้นกำเนิดจากญี่ปุ่นและประเทศในเอเชีย ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในระดับโลก รวมถึงสหรัฐอเมริกา ยุโรป ออสเตรเลีย และจีน ลักษณะเด่นของขนมนี้อยู่ที่รสชาติ ปริมาณแคลอรีต่ำ และอายุการเก็บรักษาที่นาน ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถเพิ่มส่วนผสมเพิ่มเติม เช่น งาดำ สำหรับ ถั่วลิสง กุ้ง เครื่องปรุงรส หรือเครื่องเทศอื่นๆ เพื่อเพิ่มรสชาติ (Nakamura *et al.*, 2012) มีลักษณะเป็นแครกเกอร์ มีหลากหลายรูปทรง ขนาด และรสชาติ โดยทั่วไปจะมีรสเค็ม (Savory) แต่บางครั้งก็มีรสหวานเช่นกัน มักรับประทานคู่กับชาเขียวในฐานะของว่างทั่วไป และนิยมเสิร์ฟเป็นของว่าง (Sinclair, 2009) อีกทั้งผลิตภัณฑ์ขนมข้าวอบกรอบญี่ปุ่นมีความเชื่อมโยงกับวัฒนธรรมประเพณีญี่ปุ่นมาอย่างยาวนาน เช่น เทศกาลปีใหม่ หรือพิธีกรรมทางศาสนา ซึ่งอุตสาหกรรมข้าวอบกรอบเซมเบ้มีมูลค่าสูงในตลาดญี่ปุ่นและตลาดโลก โดยมีการส่งออกไปยังหลายประเทศการผลิตเซมเบ้สนับสนุนการใช้ข้าว ซึ่งช่วยส่งเสริมการเกษตรในประเทศ และรักษาความมั่นคงทางอาหาร ผลิตภัณฑ์ขนมข้าวอบกรอบญี่ปุ่นมีความหลากหลายในรสชาติ เช่น รสโชยุ (ซอสถั่วเหลือง), รสสาหร่าย และรสหวาน ทำให้เป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคหลากหลายในระดับสากล นอกจากนี้ ข้าวอบกรอบยังมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี เนื่องจากส่วนใหญ่ปรุงด้วยวิธีการอบแทนการทอด ทำให้มีไขมันต่ำและแคลอรีต่ำ เหมาะกับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ (JTB Group, 2024) ซึ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ คุณค่าทางโภชนาการและเพิ่มรสสัมผัสและเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การใช้เศษร่วนมะคาเดเมียยังเป็นการส่งเสริมแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืน ด้วยการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

จากปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะแก้ไขปัญหาด้านเศษร่วนของแมคคาเดเมียให้เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์จากแมคคาเดเมียเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของจังหวัดเชียงราย อีกทั้งแมคคาเดเมียมีคุณค่าทางโภชนาการสูง

โดยมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหของเสียจากกระบวนการผลิตและพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นที่มีคุณภาพ สามารถสร้างรายได้ให้กับธุรกิจ และกระจายรายได้สู่เกษตรกร และประชาชนในพื้นที่บ้านดอยช้างได้ อีกทั้งยังสามารถเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นที่ตอบโจทย์ผู้บริโภค และเป็นวิธีเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษส่วนแมคคาเดเมียที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษส่วนแมคคาเดเมีย
3. เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษส่วนแมคคาเดเมีย

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง

นำเศษส่วนแมคคาเดเมียที่ได้จากกระบวนการกะเทาะเปลือก ใส่ถาดอะลูมิเนียม ถาดละ 500 กรัม ขนาดถาด 10x10x1.5 นิ้ว เปลี่ยนให้มีความหนาไม่เกิน 2 เซนติเมตร นำเข้าอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 3 ระดับคือ 50, 60 และ 70 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท ปริมาณถุงละ 500 กรัม เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 °C ก่อนนำไปผลิตข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษส่วนแมคคาเดเมีย

ศึกษาคุณภาพทางด้านเคมีของเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งได้แก่ ค่าความชื้น ด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ดังรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

- ปริมาณความชื้น ด้วยเครื่อง Moisture analyzer (Sartorius รุ่น MA 45) ใส่ตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ลงถาดอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบแล้ว ปิดฝาเครื่อง อุณหภูมิเครื่องจะเพิ่มขึ้น จนถึง 105 °C รอจนเครื่องวัดค่าเสร็จ แล้วอ่านผลที่ได้ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำค่าความชื้น (AOAC, 2000)

- ค่าสีระบบ CEI L^* , a^* และ b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสีรุ่น Color flex 45/0, Hunter lab, USA. โดยค่าความสว่าง (L^*) (ค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัดดูสีเข้ม, 100 หมายถึง วัดดูสีอ่อน) ค่าสี a^* คือวัดดูสีแดง (+) วัดดูสีเขียว (-) และค่าสี b^* คือวัดดูสีเหลือง (+) วัดดูน้ำเงิน (-) (CIE, 1986)

- ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง Aqua lab Model series 4TE, USA ตักตัวอย่างใส่ในตลับตัวอย่างประมาณ 1/2 ของตลับ ทำการวัดที่อุณหภูมิวิเคราะห์ 25 °C รอจนเครื่องวัดค่าเสร็จ แล้วอ่านผลที่ได้ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (AOAC, 2000)

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษส่วนแมคคาเดเมียที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษส่วนแมคคาเดเมีย

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นโดยดัดแปลงสูตรและวิธีการผลิตจาก Japan centre group Ltd. (2022) โดยนำเศษส่วนแมคคาเดเมียจากข้อ 1 ทำการศึกษาปัจจัยในการผลิตได้แก่ อุณหภูมิอบแห้ง 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 °C และปริมาณเศษส่วนแมคคาเดเมีย 20%, 30% และ 40% ของน้ำหนักแป้งข้าวเหนียว ได้สิ่งทดลอง 9 สิ่งทดลอง โดยให้ส่วนผสมอื่นคงที่ดัง Table 1 โดยมีขั้นตอนการผลิตด้วยการนำมอลโทเดกซ์ทริน เกลือ น้ำมันรำข้าว และน้ำสะอาด คนผสมละลายให้เข้ากัน ผสมแป้งข้าวเหนียว ข้าวญี่ปุ่นนึ่งสุก ใส่ส่วนผสมน้ำสะอาดขนาดให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมจนกระทั่งส่วนผสมเข้ากันเป็นเวลา 5 นาที ใส่เศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่เตรียมไว้ นวดให้เข้ากันอีกครั้ง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นพักก้อนโด เป็นเวลา 15 นาที แบ่งเป็นก้อน ก้อนละ 4 กรัม กดให้เป็นแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร จัดเรียงในถาดเข้าอบที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 8 นาที จากนั้นพลิกกลับด้านอบต่ออีก 7 นาที จากนั้นพักไว้บนตะแกรงให้เย็น

Table 1 Ingredients for the ratio of macadamia nut crumb to glutinous rice flour and the drying temperature of macadamia nut crumb as the main factors.

Formula	Drying temperature (°C)	MNC (%/gram)	glutinous rice flour (gram)	Cooked Japanese rice (gram)	Rice barn oil (gram)	Water (gram)	Maltodextrin (gram)	Salt (gram)
1	50	20 (90)	300	150	25	300	50	5
2		30 (135)	300	150	25	300	50	5
3		40 (180)	300	150	25	300	50	5
4	60	20 (90)	300	150	25	300	50	5
5		30 (135)	300	150	25	300	50	5
6		40 (180)	300	150	25	300	50	5
7	70	20 (90)	300	150	25	300	50	5
8		30 (135)	300	150	25	300	50	5
9		40 (180)	300	150	25	300	50	5

3. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง

ศึกษาคุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งได้แก่ ค่าความชื้น ด้านกายภาพได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) เนื้อสัมผัส และค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) รายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

- ปริมาณความชื้น ด้วยเครื่อง Moisture analyzer (Sartorius รุ่น MA 45) ใส่ตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ลงภาชนะลุ่มนิ่มที่ผ่านการอบแล้ว ปิดฝาเครื่อง อุณหภูมิเครื่องจะเพิ่มขึ้น จนถึง 105 °C รอจนเครื่องวัดค่าเสร็จ แล้วอ่านผลที่ได้ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำค่าความชื้น (AOAC, 2000)

- ค่าสีด้วย ระบบ CEI L^* , a^* และ b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสีรุ่น Color flex 45/0, Hunter lab, USA. โดยค่าความสว่าง (L^*) (ค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัตถุสีเข้ม, 100 หมายถึง วัตถุสีอ่อน) ค่าสี a^* คือวัตถุสีแดง (+) วัตถุสีเขียว (-) และค่าสี b^* คือวัตถุสีเหลือง (+) วัตถุน้ำเงิน (-) (CIE, 1986)

- เนื้อสัมผัสของขนมอบกรอบญี่ปุ่นด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ด้านความแข็ง (Hardness) และความสามารถแตกกระจาย (Fracturability) วัดค่าตัวอย่างทั้งหมด 10 ซ้ำ โดยวัดทั้งชิ้นที่จุดกึ่งกลางของชิ้นขนม (Bourne, 2002)

- ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง Aqua lab Model series 4TE, USA ตักตัวอย่างใส่ในตลับตัวอย่างประมาณ 1/2 ของตลับ ทำการวัดที่อุณหภูมิวิเคราะห์ 25 °C รอจนเครื่องวัดค่าเสร็จ แล้วอ่านผลที่ได้ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (AOAC, 2000)

4. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง

นำผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านคุณลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาที่ไม่มีประวัติการแพ้ถั่วและกลูเตน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปริมาณ 5 กรัม/ตัวอย่าง เสิร์ฟครั้งละ 3 ตัวอย่าง/รอบ รวมทั้งหมด 3 รอบจนครบ 9 ตัวอย่าง โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มไม่บล็อกสมบูรณ์ Randomized Complete Block Design (RCBD)

5. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง

นำผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการจากศูนย์บริการห้องปฏิบัติการอุตสาหกรรม สถาบันอาหาร ตามวิธีการส่งวิเคราะห์ตามห้องปฏิบัติการกำหนด วิเคราะห์ทั้งหมด 9 รายการ ประกอบด้วย พลังงานทั้งหมด พลังงานจากไขมัน ไขมันอิ่มตัว คอลเลสเตอรอล โปรตีน คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล โซเดียม โพแทสเซียม

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาค้นคว้าประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's multiple comparison test ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การศึกษาศสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษส่วนแมคคาเดเมีย และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x3 โดยมี ปัจจัยอุณหภูมิ 50, 60, และ 70°C และปริมาณเศษส่วนแมคคาเดเมีย 20%, 30%, และ 40%

การศึกษาศสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษส่วนแมคคาเดเมียวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Tukey's multiple comparison test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) วิเคราะห์ผลด้วย Two-way ANOVA เพื่อตรวจสอบ ผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบร่วม (Interaction Effect) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ IBM SPSS statistics 29

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. ผลศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง ผลการวิเคราะห์ดัง Table 2 จากผลการศึกษาพบว่าเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C มีค่าสี ด้านค่าความสว่าง (L^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 56.66 ที่ 50°C, 53.26 ที่ 60°C และ 50.58 ที่ 70°C แสดงถึงความสามารถในคงค่าความสว่างที่ดีเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า เศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ค่า L^* ลดลง 53.26 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยา Maillard Reaction และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในโครงสร้างของเศษส่วนแมคคาเดเมียที่อาจเริ่มมีความเข้มของสีเพิ่มขึ้น และกว่า เศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ค่า L^* ลดลงต่อ 50.58 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิสูงในอบแห้งเศษส่วนแมคคาเดเมียทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและการเสื่อมสภาพของโปรตีนหรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ส่งผลให้ค่าความสว่างลดลงชัดเจน ค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิการอบ

เพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ -1.39 ที่ 50°C, -1.51 ที่ 60°C และ -1.81 ที่ 70°C แสดงถึงความเข้มของสีแดงที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่น ๆ เศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ค่า a^* ลดลงเล็กน้อยเป็น -1.51 แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความเข้มของสีแดงเล็กน้อย และเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ค่า a^* ลดลงต่อไปเป็น -1.8 แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความเข้มของสีแดงอย่างชัดเจน และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 7.77, 8.72 และ 9.42 สำหรับอุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70 °C ตามลำดับ แสดงถึงความเข้มของสีเหลืองที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการอบเศษส่วนแมคคาเดเมียที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C ทั้งสองอุณหภูมิความเข้มของสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยา Maillard และ Caramelization ที่ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น ซึ่งอุณหภูมิในการอบเศษส่วนแมคคาเดเมียไม่เท่ากัน แต่ระยะเวลาในการอบเท่ากัน ส่งผลให้ค่าสีที่แตกต่างกัน เกิดจากปฏิกิริยาน้ำตาลในระหว่างการอบเนื่องจากที่อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้เกิดการเร่งปฏิกิริยา Maillard สอดคล้องกับการศึกษาของ Pankaew *et al.*, (2016) ศึกษาการอบแห้งถั่วแมคคาเดเมียและพบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Maillard และการเสื่อมสภาพของสารประกอบทางเคมี จากการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลที่เป็นกระบวนการไฮโดรไลซิสที่ทำให้ลดปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ส่งผลให้น้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น ดังนั้นสีของเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C มีสีเข้มกว่าเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C สอดคล้องกับ Wall and Gentry (2007) ได้ศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในแมคคาเดเมียมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียคั่วแห้งซึ่งพบว่า น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสที่มีอยู่ในเมล็ดแมคคาเดเมียสดเมื่อทำการคั่วที่อุณหภูมิ 125 °C เป็นเวลา 30 นาที แคนซี้ เครื่องเงิน และคณะ (2565) ในการศึกษาผลของพลังงานอินฟราเรดและเวลาที่ใช้ในการอบต่อคุณภาพด้านกายภาพเคมีและประสาทสัมผัสของแมคคาเดเมียอบ พบว่าในการทำแห้งและคั่วแมคคาเดเมียจะเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลเกิดจากการลดของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสและจะทำให้มีน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นดังนั้นสีของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียภายในเมล็ดแห้งจึงเข้มกว่าเมล็ดสดเล็กน้อย อีกทั้งแมคคาเดเมียเป็นถั่วที่มีปริมาณไขมันสูง โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยา Oxidation ได้ง่ายในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (Buthelezi *et al.*, 2021) เมื่อกระบวนการอบแห้งดำเนินไป ไขมันอาจเกิดออกซิเดชันทำให้เกิดสารประกอบ

คาร์บอนิล ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น และอาจมีผลต่อการลดค่า L^* และการสลายตัวของรงควัตถุธรรมชาติ (Pigment degradation) รงควัตถุที่พบในแมคคาเดเมีย สามารถเสื่อมสลายได้เมื่อได้รับความร้อนสูง ส่งผลให้ค่าสี a^* ลดลง และ b^* เพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูง (Vu *et al.*, 2020) และผลกระทบจากค่า a_w ที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงช่วยลดปริมาณน้ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ส่งผลต่อค่าสี โดยเฉพาะปฏิกิริยา Maillard ที่มักเกิดขึ้นได้ดีในช่วงค่า a_w 0.2-0.7 ซึ่งช่วยเร่งการเกิดสารประกอบที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น (Zhou & Langrish, 2022)

ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) พบว่าเศษส่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C ต่างอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.48–0.55 ซึ่ง a_w ของเศษส่วนแมคคาเดเมียทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าความชื้นต่ำกว่า 0.6 ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่อมีค่า a_w หรือเท่า 0.6 หรือต่ำกว่า ซึ่งค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร หากพิจารณา a_w ที่สูงที่สุดคือ 0.55 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า 0.6 หากค่า a_w ของเศษส่วนแมคคาเดเมีย สูงขึ้นจนถึง 0.6 อาจเกิดผลกระทบต่อความเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ การเสื่อมเสียของตัวอย่างจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) เนื่องจากแมคคาเดเมียเป็นถั่วที่มีไขมันสูง โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีความไวต่อออกซิเดชัน หากค่า

a_w สูงถึง 0.6 จะมีน้ำเพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืน (Rancidity) และรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ (Vu, 2019) และส่งผลต่อการดูดซับความชื้น (Moisture absorption) และการเสียเนื้อสัมผัส ซึ่งหากผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นจากอากาศ จะอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ความกรอบลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งต้องการค่าความชื้นต่ำ (<0.5) เพื่อรักษาความกรอบ แต่ที่ค่า a_w 0.6 อาจทำให้เกิดการคืนตัวของน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความกรอบและกลายเป็นเหนียวหรืออ่อนตัว การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอาหารบางชนิด เช่น ผงอาหาร อาจจับตัวเป็นก้อน (Caking) ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ (Leistner & Rahman, 2022) นอกจากนี้ค่าความชื้น พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งทำให้ค่าความชื้นในเศษส่วนแมคคาเดเมียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นที่แตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C แสดงถึงแนวโน้มว่าค่า a_w ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของการลดความชื้นในอาหารด้วยความร้อน อีกทั้งค่าความชื้นลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบเพิ่มขึ้น แสดงถึงการสูญเสียน้ำที่มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วศินวีโรตม์ เนติศักดิ์ (2565) ที่พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ความชื้นลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ค่า a_w และค่าความชื้นลดลง และ Lue and Giau (2014) ศึกษาการอบแห้งของถั่วชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันเพื่อวิเคราะห์ค่าความชื้น โดยผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นของตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Table 2 Physical and chemical properties of drying MNC at temperatures of 50, 60, and 70 °C

Physical and chemical properties	Drying temperature (°C)		
	50	60	70
Colour			
L^*	56.66 ^a ±2.73	53.26 ^b ±4.60	50.58 ^a ±2.46
a^*	-1.39 ^c ±0.21	-1.51 ^b ±0.22	-1.81 ^a ±0.19
b^*	7.77 ^a ±1.26	8.72 ^b ±1.41	9.42 ^c ±0.13
Water activity (a_w)	0.55 ^b ±0.01	0.49 ^a ±0.03	0.48 ^a ±0.01
Moisture (%wet basis)	3.41 ^b ±0.83	2.94 ^a ±0.40	2.51 ^b ±0.35

N.B.: Different letters within a row indicate differences determined by Duncan's new multiple range test (DMRT) at the 95 percent level of significance ($p \leq 0.05$)

^{ns} = Non-significant ($p > 0.05$)

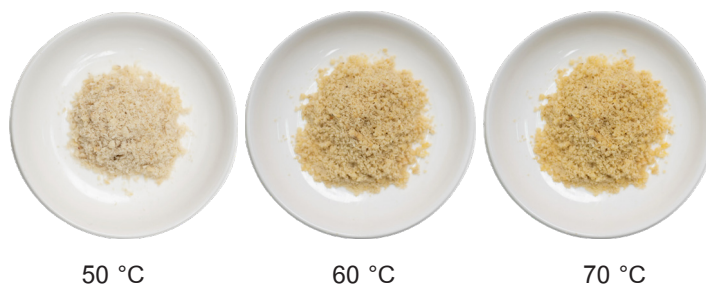


Figure 1 Macadamia nut crumb

2. ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมีย

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียที่มีต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C ในปริมาณ 20%, 30% และ 40% ของน้ำหนักแป้งข้าวเหนียว พบว่าค่าความสว่าง (L^*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้เศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งอุณหภูมิ 70 °C ค่า L^* จะลดลง ตามอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น แสดงให้เห็นแนวโน้มที่ลดลงเมื่อใช้เศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C โดยพบว่าอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่ 70 °C มีค่า L^* ต่ำที่สุด ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลในการทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard และ Caramelization ที่เกิดขึ้นในสภาวะความร้อนสูง และพบว่าปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% ค่า L^* มีแนวโน้มลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเศษร่วนที่ 20% และ 30% ปริมาณเศษร่วนที่มากขึ้นอาจเพิ่มโอกาสเกิดปฏิกิริยา Maillard เมื่อได้รับความร้อนสูงส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีความเข้มมากขึ้นงานวิจัยของ Silva *et al.* (2006) ระบุว่า การเพิ่มปริมาณของสารตั้งต้นที่มีโปรตีนและน้ำตาลสูง เช่น ถั่ว ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง และพบว่าการใช้อุณหภูมิอบแห้งเศษร่วนแมคคาเดเมีย 70 °C และปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% สีของผลิตภัณฑ์จะเข้มขึ้น

ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่า a^* เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งเศษร่วนแมคคาเดเมียสูงขึ้น ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเฉพาะที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C มีค่า a^* สูงสุดในบางระดับของปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียในผลิตภัณฑ์ ซึ่งบ่งชี้ว่าการใช้ความร้อนสูงทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาล ส่งผลให้เม็ดสีแดงน้ำตาลเกิดขึ้น ทำให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น

การเพิ่มขึ้นของค่า a^* จึงเป็นผลจากกระบวนการเคมีที่เกิดขึ้นในสภาวะความร้อนสูง ด้านการเพิ่มปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียของผลิตภัณฑ์มีผลให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย สะท้อนถึงความเข้มของสีแดงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะเศษร่วนแมคคาเดเมียมีส่วนประกอบของโปรตีนและน้ำตาลที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard เมื่อได้รับความร้อน โดยปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียที่มากขึ้นให้สีแดงมากกว่าในสูตรที่มีปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียน้อยกว่า และค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 70 °C ค่า b^* สูงกว่า 50 และ 60 °C ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า b^* อาจเกิดจากกระบวนการ Caramelization ของน้ำตาลภายในเศษร่วนแมคคาเดเมีย ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนสูง การที่ค่า b^* เพิ่มขึ้นนี้แสดงถึงการเพิ่มความเข้มของสีเหลืองที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมีในสภาวะที่มีความร้อนสูง และปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า b^* สูงขึ้นเช่นกัน โดยสูตรที่มีเศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% มีค่า b^* สูงกว่าสูตรที่มีปริมาณ 20% และ 30% เพราะมีน้ำตาลและกรดอะมิโนในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยา Caramelization และปฏิกิริยา Maillard ได้อย่างเข้มข้นขึ้นในสภาวะอุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ได้คือสีเหลืองที่เข้มขึ้นเล็กน้อย

ค่าความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมด้วยเศษร่วนแมคคาเดเมียมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างระดับอุณหภูมิการอบและสัดส่วนการผสมของเศษร่วนแมคคาเดเมีย โดยค่าความแข็งอยู่ในช่วง 20.10 ถึง 22.00 นิวตัน (N) ซึ่งปัจจัยอุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70 °C และปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย 20%, 30% และ 40% ไม่ส่งผลให้ค่าความแข็งของ ผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากข้าวอบกรอบญี่ปุ่นมีแป้งข้าวเหนียวเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งแป้งข้าวเหนียวมีโครงสร้างของอะมิโลเพกติน ทำให้เกิดลักษณะเหนียวหนึบและคงตัวหลังการอบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Takei *et al.* (2019) พบว่าค่าความแข็งของข้าวอบกรอบได้รับอิทธิพลจากคุณสมบัติทาง Rheological ของแป้งข้าวเหนียวเป็นหลัก และการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในแป้ง

จะมีผลต่อโครงสร้างของข้าวอบกรอบมากกว่าการเติมสารเติมแต่งอื่น ๆ นอกจากนี้ การศึกษาของ Udomkun *et al.* (2020) ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งของข้าวอบกรอบขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เช่น เทคนิคการทอดหรืออบแห้งมากกว่าการปรับเปลี่ยนส่วนผสมเล็กน้อย ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย 20%-40% ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

และความสามารถแตกกระจาย (Fracturability) ของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียในผลิตภัณฑ์ โดยค่าความสามารถแตกกระจาย อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันระหว่าง 20.10 ถึง 22.10 ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

เมื่อปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้น อาจเกิดไขมันและโปรตีนในถั่วช่วยให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความเหนียวแน่นและลดความสามารถแตกกระจายลง สอดคล้องกับการศึกษา Matos *et al.*, (2024) พบว่าโปรตีนจากถั่ว เช่น อัลมอนต์ แมคคาเดเมีย และเฮเซลนัท มีความสามารถในการสร้างโครงข่ายโปรตีนที่เหนียวแน่นขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นและลดโอกาสในการแตกหักได้ง่ายขึ้น และโปรตีนไขมันที่มีอยู่ในถั่วเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมความเหนียวแน่นของผลิตภัณฑ์ และงานวิจัยของ Sharma *et al.* (2022) ระบุว่าไขมันจากถั่วทำหน้าที่เป็นสารเติมเต็มในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้น้ำมันผสมมีความสมดุลและลดการแตกร่วนของผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นฐานจากแป้งและธัญพืชดัง Table 3

Table 3 Physical properties of Japanese rice cracker mixed with macadamia nut crumb.

Formula	Drying temperature (°C) : MNC (%)	Values				
		L*	a* ^{ns}	b* ^{ns}	Hardness ^{ns} (N)	Fracturability ^{ns} (G)
1	50 (°C) : 20	64.66 ^b ±2.10	13.59±3.34	32.28±3.83	22.00±2.54	22.10±2.65
2	50 (°C) : 30	63.42 ^b ±1.30	14.25±2.89	34.32±3.34	20.90±2.33	21.90±2.28
3	50 (°C) : 40	64.24 ^b ±2.17	14.16±2.77	33.80±2.90	21.90±2.08	20.40±2.12
4	60 (°C) : 20	64.10 ^b ±2.11	13.93±5.36	33.00±3.77	21.50±2.76	21.60±1.96
5	60 (°C) : 30	64.83 ^b ±2.13	13.76±2.45	32.38±3.70	20.10±1.29	21.20±1.93
6	60 (°C) : 40	62.21 ^b ±1.46	14.80±6.58	32.53±3.09	21.70±2.10	21.40±2.41
7	70 (°C) : 20	57.10 ^a ±1.86	13.30±3.86	35.1±2.38	21.80±2.36	21.60±2.88
8	70 (°C) : 30	56.33 ^a ±1.96	14.36±3.19	32.99±2.55	21.00±2.38	20.40±1.35
9	70 (°C) : 40	54.52 ^a ±1.44	14.32±5.10	33.56 ±2.21	21.90±2.26	20.10±2.13

N.B.: Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test (DMRT) at the 95 percent level of significance ($p\leq 0.05$)

^{ns} = Non-significant ($p>0.05$)

ด้านการวิเคราะห์ผลการแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียดัง Table 4 พบว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่มีผลกระทบบที่มีนัยสำคัญต่อค่าสี โดยค่า p-value สูงกว่า 0.05 ในทุกตัวแปรด้านค่าสี แสดงว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่สามารถตรวจวัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่มีแนวโน้มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลต่อความสามารถแตกกระจายของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่า p-value ของ Fracturability มีค่าใกล้เคียงกับนัยสำคัญ ($p=0.0661$) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้านผลกระทบบจากปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ต่อค่าความ

สว่าง (L*) โดยค่า $p=0.044$ ซึ่งการเพิ่มปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียอาจส่งผลต่อการกระจายแสงและการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ อาจมาจากปริมาณไขมันในแมคคาเดเมียที่อาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ด้านค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ไม่ส่งผลมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อวิเคราะห์ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย พบว่าไม่มีผลที่มีนัยสำคัญในทุกคุณภาพทางกายภาพ ($p>0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียไม่ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ค่าความแข็ง (Hardness) พบว่ามีแนวโน้มที่ค่า p-value จะเข้าใกล้ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.062$) อาจวิเคราะห์

ได้ว่าปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียและอุณหภูมิอบแห้งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในระดับหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nakamura *et al.* (2020) ที่ระบุว่าปริมาณไขมันและความชื้นของวัตถุดิบมีผลต่อค่าความสว่างและพื้นผิวของ

ผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของถั่วหรือเมล็ดพืชที่มีไขมัน โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งและความสามารถแตกกระจายขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก

Table 4 F(p) value of Physical properties of Japanese rice cracker mixed with macadamia nut crumb.

Source of variation	L*	a*	b*	Hardness	Fracturability
Drying temperature	1.241(0.295)	1.158(0.319)	0.877(0.420)	0.569(0.568)	2.902(0.061)
MNC	3.256*(0.044)	1.068(0.348)	0.105(0.901)	2.872(0.062)	0.026(0.975)
Drying temperature x MNC	1.801(0.137)	1.277(0.286)	0.380(0.923)	2.218(0.074)	0.218(0.928)

* = Differences were statistically significant ($p \leq 0.05$)

3. ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียที่มีต่อผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมีย

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง และความชอบโดยรวม ดัง Table 5 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวอบกรอบญี่ปุ่นมากที่สุดคือปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย รองลงมาคืออุณหภูมิอบแห้ง ในขณะที่ความแข็งของผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากทั้งสองปัจจัย ด้านลักษณะปรากฏคะแนนอยู่ในช่วง 6.90-7.18 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านสีของผลิตภัณฑ์ พบว่าอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรอบแห้งที่ 70°C ที่มีปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย 50% มีคะแนนสูงสุดที่ 7.10 การใช้อุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์ ด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และด้านความ

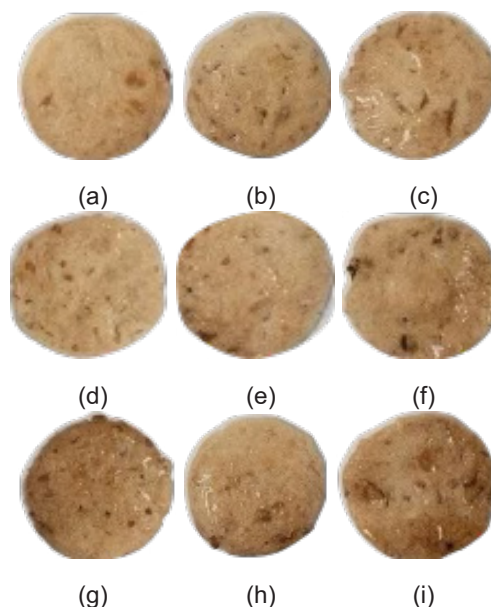
พึงพอใจโดยรวม พบว่าสูตรอบแห้งที่ 70°C ที่มีปริมาณเศษร่วน 40% ได้รับคะแนนสูงสุดที่ 7.22 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากสูตรที่มี ปริมาณเศษร่วนในปริมาณ 20% และ 30% ซึ่งปริมาณเศษร่วนมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส และอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติด้านรสชาติดีขึ้น ดังนั้นการใช้เศษร่วนแมคคาเดเมียอบอุณหภูมิ 70°C ช่วยเพิ่มความเข้มของสีเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและน้ำตาลที่ทำให้เกิดเม็ดสีที่เข้มขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งปฏิกิริยานี้จะมีอัตราเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มเป็น 2-3 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทุก ๆ 10°C (นิธิยา รัตนพานนท์, 2557) และการเพิ่มปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% ส่งผลให้กลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นขึ้น เนื่องจากแมคคาเดเมียมีไขมันและโปรตีนสูง ซึ่งเมื่อผ่านอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดกลิ่นหอมเฉพาะตัวและรสชาติที่เข้มข้น สอดคล้องกับ อธิป บุญศิริวิทย์ และนภัทร ศรีธรรมย์ (2561) พบว่าการใช้ถั่วลิสงทดแทนถั่วอัลมอนต์ในผลิตภัณฑ์มาการองทำให้มีกลิ่นรสจำเพาะจากถั่วลิสงในปริมาณมาก ซึ่งการเพิ่มเศษร่วนแมคคาเดเมียช่วยให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียดีขึ้น

Table 5 Sensory evaluation of Japanese rice cracker with macadamia nut crumb.

Formula	Drying temperature (°C) : MNC (%)	Liking scores					Overall accept- ability
		Appearance ^{ns}	Colour	Odour	Taste	Hardness ^{ns}	
1	50 (°C) : 20	6.90±0.7	6.68 ^a ±0.8	6.64 ^a ±0.8	6.72 ^a ±0.9	7.08±0.9	6.84 ^a ±0.8
2	50 (°C) : 30	6.92±0.8	6.88 ^{ab} ±0.9	6.88 ^{ab} ±0.9	7.00 ^{ab} ±0.8	6.98±0.8	6.86 ^{ab} ±0.9
3	50 (°C) : 40	6.96±0.8	6.86 ^{ab} ±0.8	7.10 ^{bc} ±0.8	7.04 ^{ab} ±0.9	6.90±0.9	7.08 ^{ab} ±0.8
4	60 (°C) : 20	6.92±0.8	6.70 ^a ±0.8	6.78 ^{ab} ±0.8	6.98 ^{ab} ±0.9	6.98±0.8	6.94 ^{ab} ±0.8
5	60 (°C) : 30	7.00±0.8	6.94 ^{ab} ±0.9	6.94 ^{abc} ±0.9	7.02 ^{ab} ±0.8	6.86±0.8	6.90 ^{ab} ±0.8
6	60 (°C) : 40	7.08±0.8	7.02 ^{ab} ±0.9	7.02 ^{bc} ±0.8	7.24 ^b ±0.8	7.18±0.7	7.10 ^{ab} ±0.9
7	70 (°C) : 20	7.00±0.8	6.78 ^a ±0.9	6.80 ^{ab} ±0.9	6.96 ^{ab} ±0.8	6.98±0.8	6.78 ^a ±0.8
8	70 (°C) : 30	7.14±0.8	7.08 ^{ab} ±0.8	7.00 ^{abc} ±0.8	7.14 ^b ±0.8	6.90±0.8	6.98 ^{ab} ±0.8
9	70 (°C) : 40	7.18±0.8	7.10 ^b ±0.8	7.22 ^c ±0.8	7.28 ^b ±0.8	7.16±0.8	7.22 ^b ±0.8

N.B.: Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test (DMRT) at the 95 percent level of significance ($p \leq 0.05$)

^{ns} = Non-significant ($p > 0.05$)

**Figure 2** Japanese rice cracker with macadamia nut crumb.

- (a) JRC-MNC 20% dried at 50 °C (b) JRC-MNC 30% dried at 50 °C (c) JRC-MNC 40% dried at 50 °C
 (d) JRC- 20% dried at 60 °C (e) JRC-MNC 30% dried at 60 °C (f) JRC-MNC 40% dried at 60 °C
 (g) JRC-MNC 20% dried at 70 °C (h) JRC-MNC 30% dried at 70 °C (i) JRC-MNC 40% dried at 70 °C

การวิเคราะห์ผลการแปรปรวนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียดัง Table 6 พบว่าอุณหภูมิอบแห้งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสลักษณะปรากฏ และรสชาติ แต่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความแข็ง และความชอบโดยรวม โดยปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง และความชอบโดยรวม โดยเฉพาะความแตกต่างของสีและกลิ่นที่มีค่าระดับนัยสำคัญสูงสุด ($p = 0.000$) ซึ่งการเพิ่มปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ อาจเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมันในแมคคาเดเมียกับองค์ประกอบของข้าวอบกรอบญี่ปุ่นในระหว่างการอบเมื่อวิเคราะห์ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียส่งผล

คุณภาพทางประสาทด้านความแข็ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.048$) อาจเกิดจากระดับความชื้นที่ลดลงและองค์ประกอบของไขมันในแมคคาเดเมียที่อาจมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chuyen and Nguyen (2024) ซึ่งพบว่าการเติมน้ำมันแมคคาเดเมียในผลิตภัณฑ์ เบเกอรี่ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นของกลั่นและรสชาติเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไขมันและองค์ประกอบของแป้งในกระบวนการอบ และ Starowicz and Zieliński (2019) ระบุว่าอุณหภูมิการ

อบมีส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและรสชาติของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทธัญพืช ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะด้านสี กลิ่น รสชาติ และความยอมรับโดยรวม ในขณะที่อุณหภูมิการอบมีผลต่อลักษณะปรากฏและรสชาติของผลิตภัณฑ์

Table 6 F(p) value of Sensory evaluation of Japanese rice cracker mixed with macadamia nut crumb.

Source of variation	Appearance	Colour	Odour	Taste	Hardness	Overall acceptability
Drying temperature (°C)	4.209*(0.015)	1.650(0.193)	1.650(0.193)	4.633*(0.010)	0.090(0.914)	0.571(0.565)
MNC (%)	1.925(0.147)	14.522*(0.000)	14.522*(0.000)	9.953*(0.000)	3.291*(0.038)	9.969*(0.000)
Drying temperature x MNC	0.169(0.954)	0.553(0.697)	0.553(0.697)	1.809(0.125)	2.408*(0.048)	0.938(0.441)

* = Differences were statistically significant ($p \leq 0.05$)

4. ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง 100 กรัม พบว่ามีสารอาหารดังนี้ พลังงานทั้งหมด 475 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 21.8 กรัม ไขมันอิ่มตัว 3.60 กรัม คาร์โบไฮเดรต 63.40 กรัม น้ำตาล 10.2 กรัม โปรตีน 6.2 กรัม โซเดียม 215 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 146 มิลลิกรัม และใยอาหาร 3.06 กรัม ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งมีไขมันในปริมาณที่มาก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ที่กำหนดกำหนดให้บริโภคไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 10% ของพลังงานที่ได้รับต่อวัน หรือประมาณ 15-20 กรัมต่อวัน (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2565) และการเพิ่มปริมาณเพิ่มปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้งในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้มีปริมาณไขมันสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนชชา กุญแจทอง และคณะ (2565) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมแผ่นกรอบแมคคาเดเมียที่ผสมปริมาณแมคคาเดเมีย 20% มีปริมาณไขมันเพิ่มสูง เนื่องจากแมคคาเดเมียมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบสูง Hu, W. *et al.*, (2019) ดัง Table 7

Table 7 Nutrition content of JRC-MNC per 100 g.

Nutrient (100g)	Content
Total energy (kcal)	475
Total fat (g)	21.80
Saturated fat (g)	3.60
Cholesterol (g)	Not Detected
Total Carbohydrate (g)	63.40
Total Sugar (g)	10.20
Protein (g)	6.20
Sodium (mg)	215
Potassium (g)	146
Moisture (g)	5.68
Ash (g)	2.20
Dietary fiber (g)	3.06

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และทางกายภาพของเศษร่วนแมคคาเดเมียพบว่าอุณหภูมิที่ต่างกันส่งผลส่งผลให้ค่า L^* ลดลง ขณะที่ความเข้มของ a^* และ b^* เพิ่มขึ้น ค่าความชื้นและค่า a_w ลดลงตามอุณหภูมิการอบที่สูงขึ้น ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียที่มีต่อคุณสมบัติของข้าวอบกรอบญี่ปุ่นพบว่า อุณหภูมิอบแห้งเศษร่วนแมคคาเดเมียอบแห้ง 50, 60 และ 70°C และปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมีย 20%, 30% และ 40% สูง

ขึ้นทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น ปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และความสามารถกระจายลดลง และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณเศษร่วนแมคคาเดเมียมีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์มากที่สุด อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นช่วยเพิ่มความเข้มของสีและความหอมของผลิตภัณฑ์ สูตรที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือการใช้เศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% อบที่ 70°C ซึ่งให้คะแนนด้านรสชาติและความชอบโดยรวมดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ค่าคะแนนไม่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ใช้เศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% อบที่ 60°C ซึ่งได้รับคะแนนการยอมรับในระดับปานกลางถึงดี ดังนั้นสูตรที่ใช้เศษร่วนแมคคาเดเมีย 40% อบที่ 60°C และสูตรที่ใช้เศษร่วนแมคคาเดเมียอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า ในการผลิตเชิงพาณิชย์เนื่องจากได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ในระดับที่ดีแต่ใช้พลังงานน้อยลง และผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบญี่ปุ่นผสมเศษร่วนแมคคาเดเมีย 100 กรัม ให้พลังงาน 475 กิโลแคลอรีต่อ และมีไขมัน 21.8 กรัม

จากการวิจัยในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมควรเพิ่มการศึกษาอุณหภูมิการอบเศษร่วนแมคคาเดเมียที่ต่ำกว่า 50°C และสูงกว่า 70°C เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่ส่งผลต่อสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา พิจารณาคูสมบัติเช่น สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส รวมถึงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า a_w รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสในระยะเวลา 1, 3 และ 6 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) แผนงานการบริหารจัดการเพื่อพัฒนา RAINS for Thailand Food Valley; Eastern Lanna Food Valley (เชียงราย พะเยา แพร่ น่าน) ประจำปี 2566 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนในการช่วยเหลือการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

แดนชัย เคื่องเงิน, อัสภา เพิ่มสุวรรณวิษณุ, บัวเทศ และศิริลดา ศรีกอก. (2565). ผลของพลังงานอินฟราเรดและเวลาที่ใช้ในการอบต่อคุณภาพด้านกายภาพเคมีและประสาทสัมผัสของถั่วแมคคาเดเมียอบ. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี*, 1(1), 45–61.

ทักยา อนุสร. (2555). *ถั่วและธัญพืช เมล็ดพันธุ์แห่งสุขภาพ*. มติชน.

ชนชชา กุญแจทอง, วิรัตน์ สุมณ และทิพย์มนต์ ไยเกษ. (2565). การผลิตหุ้มนกรอบแมคคาเดเมียพร้อมบริโภค. ใน *รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60* (น. 527–533). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนพานนท์. (2557). *เคมีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 5). โอเดียนสโตร์.

พิมพ์ใจ ทรงประโคน. (2562, 12 พฤศจิกายน). *มะคาเดเมีย ลีขอลผลิตภัณฑ์ด้วยช่าง จ.เชียงราย สร้างงานอาชีพ ให้ชุมชน*. เทคโนโลยีชาวบ้าน. https://www.technology-chaoban.com/bullet-news-today/article_94413

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงราย. (2565). *แผนพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงราย (2566-2570)*. <https://www.opsmoac.go.th/chiangrai-strategic-files-461591791809>

สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2565). *ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563* (ฉบับที่ 1). เอ.วี. โปรเกรสซีฟ.

อชิป บุญศิริวิทย์ และนภัทร ศรีวระมย์. (2561). การผลิตขนมอบจากไข่ขาวประเภทมาการองโดยใช้ถั่วลิสงผงและเม็ดมะม่วงหิมพานต์ผงทดแทนอัลมอนต์ผง. *วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี*, 12(2), 182–192.

AOAC. (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists International.

Bailey, H. M., & Stein, H. H. (2020). Raw and roasted pistachio nuts (*Pistacia vera* L.) are 'good' sources of protein based on their digestible indispensable amino acid score as determined in pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(10), 3878–3885. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10429>

Bourne, M. C. (2002). *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (2nd ed.). Academic Press.

Buthelezi, N. M. D., Tesfay, S. Z., & Magwaza, L. S. (2021). Influence of roasting on antioxidants, fatty acids, sensory properties and oxidative stability of macadamia nuts. *Scientia Horticulturae*, 281, Article 110012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.110012>

Chuyen, H. V., & Nguyen, T. N. (2024). Changes in nutritional and sensory qualities of cookies supplemented with macadamia oil cake. *Journal of*

- Technical Education Science*, 19(3), 40–48. <https://doi.org/10.54644/jte.2024.1595>
- CIE. (1986). *Colorimetry* (2nd ed.). Commission Internationale de l'Eclairage.
- Garg, M. L., Blake, R. J., & Wills, R. B. H. (2003). Macadamia nut consumption lowers plasma total and LDL cholesterol levels in hypercholesterolemic men. *The Journal of Nutrition*, 133(4), 1060–1063. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1060>
- Hu, W., Fitzgerald, M., Topp, B., Alam, M., & O'Hare, T. J. (2019). A review of biological functions, health benefits, and possible de novo biosynthetic pathway of palmitoleic acid in macadamia nuts. *Journal of Functional Foods*, 62, Article 103519. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103519>
- Japan Centre Group Ltd. (2023, March 22). *Homemade senbei rice crackers*. <https://www.japancentre.com/en/recipe/1394-homemade-senbei-rice-crackers>
- JTB Group. (2024, January 13). *What is Senbei? The best Japanese rice cracker! Fun! Japan*. <https://www.fun-japan.jp/en/articles/12010>
- Leistner, L., & Rahman, M. S. (2020). Hurdle technology (combined methods) for food preservation: Theory and basic aspects. In M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of food preservation* (2nd ed., pp. 477–506). CRC Press.
- Lue, C. J., & Giau, V. H. (2014). Effect of drying temperature on moisture content of various nuts. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(2), 102–109. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12068>
- Matos, J., Costa, J., Castro, D., Azevedo, P., Nascimento, A., Stringheta, P., Martins, E., & Campelo, P. (2024). Nut proteins as plant-based ingredients: Emerging ingredients for the food industry. *Processes*, 12(8), Article 1742. <https://doi.org/10.3390/pr12081742>
- Moreno-Perez, A. J., Sanchez-Garcia, A., Salas, J. J., Garces, R., & Martinez-Force, E. (2011). Acyl-ACP thioesterases from macadamia (*Macadamia tetraphylla*) nuts: Cloning, characterization and their impact on oil composition. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(1), 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.10.002>
- Nakamura, S., Ikeuchi, T., Araki, A., Kasuga, K., Watanabe, K., Hirayama, M., Ito, M., & Ohtsubo, K. (2020). Possibility for prevention of type 2 diabetes mellitus and dementia using three kinds of brown rice blends after high-pressure treatment. *Foods*, 11(6), Article 818. <https://doi.org/10.3390/foods11060818>
- Nakamura, S., Suzuki, D., Kitadume, R., & Ohtsubo, K. (2012). Quality evaluation of rice crackers based on physicochemical measurements. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 76(4), 794–804. <https://doi.org/10.1271/bbb.110931>
- Pankaew, P., Janjai, S., Nilnont, W., Phusampao, C., & Bala, B. K. (2016). Moisture desorption isotherm, diffusivity and finite element simulation of drying of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*). *Food and Bioprocess Processing*, 100, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.004>
- Sharma, S. K., Barthwal, R., Saini, D., & Rawat, N. (2022). Chemistry of food fats, oils, and other lipids. In O. P. Chauhan (Ed.), *Advances in food chemistry* (pp. 477–506). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4796-4_6
- Silva, F. A., Marsaiol, A. I., Maximo, G. J., Silva, M. A. A. P., & Gonçalves, L. A. G. (2006). Microwave-assisted drying of macadamia nuts. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 550–558. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.015>
- Sinclair, C. (2009). *Dictionary of food: International food and cooking terms from A to Z*. A&C Black.
- Starowicz, M., & Zieliński, H. (2019). How Maillard reaction influences sensorial properties (color, flavor, and texture) of food products? *Food Reviews International*, 35(8), 707–725. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600538>
- Takei, R., Maruyama, K., Washio, H., Watanabe, T., & Takahashi, T. (2019). Effects of rheological properties of rice dough during manufacture of rice cracker on the quality of the end product. *Journal of Texture Studies*, 50(2), 139–147. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12380>
- Udomkun, P., Tangsanthatkun, J., & Innawong, B. (2020). Influence of process parameters on the physico-

- chemical and microstructural properties of rice crackers: A case study of novel spray-frying technique. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, Article 102271. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102271>
- Vu, T. P. (2019). *Strategies to increase lipid oxidative stability of a low moisture cracker system* [Doctoral dissertation, University of Massachusetts Amherst]. ScholarWorks at UMass Amherst. <https://doi.org/10.7275/13453394>
- Vu, T. P., He, L., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2020). Effects of water activity, sugars, and proteins on lipid oxidative stability of low moisture model crackers. *Food Research International*, 130, Article 108844. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108844>
- Wall, M. M., & Gentry, T. S. (2007). Carbohydrate composition and color development during drying and roasting of macadamia nuts (*Macadamia integrifolia*). *LWT - Food Science and Technology*, 40(4), 587–593. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.012>
- Zhou, Z., & Langrish, T. (2022). Color formation and Maillard reactions during the spray drying process of skim milk and model systems. *Journal of Food Process Engineering*, 45(1), Article e13936. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13936>