

2สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและการจัดการ ภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์
อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160

อุตสาหกรรมเบเกอร์รี่ของประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559-2560 ตลาดเบเกอร์รี่มีการเติบโตเฉลี่ย

Online print: 30 May 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.15>

ร้อยละ 7 ต่อปี มูลค่าประมาณ 22.3 พันล้านบาท และมีแนวโน้มที่จะเติบโตอย่างต่อเนื่อง (Raiva, 2016) สาเหตุของมาการองที่มีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากมีต้นทุนด้านวัตถุดิบโดยเฉพาะอัลมอนต์มีราคาที่สูง รวมถึงกระบวนการผลิตมาการองมีขั้นตอนและเทคนิคการผสมที่เฉพาะตัว ซึ่งในกระบวนการผลิตในแต่ละวิธีการผสมจะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ การตีไข่ขาวกับน้ำตาลจนตั้งยอด (เมอแรงก์) และนำไปผสมกับของแห้ง ตระลอมส่วนผสมจนได้ความเหลวที่ต้องการและนำมาบีบเป็นฝา ทิ้งไว้ในอุณหภูมิที่เย็นจนฝาของมาการองแห้งสนิท จากนั้นนำไปอบ การผลิตมาการองให้มีลักษณะที่ดีตรงตามความต้องการของผู้บริโภคจะต้องควบคุมคุณภาพ และลดปัจจัยเสี่ยงที่จะส่งผลต่อลักษณะกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ เช่น รูปทรง ความสูงของขา ความกรอบ ปริมาณความชื้น ฯลฯ จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์มาการองจากวัตถุดิบทางเลือก เพื่อเพิ่มความแปลกใหม่ รวมไปถึงลดต้นทุนในการผลิต เช่น การใช้เม็ดมะม่วงหิมพานต์ และถั่วลิสงทดแทนผงอัลมอนต์ (Boonsiriwit & Sriwarom, 2018; Panyayong & Khantasen, 2018) การใช้กากเมล็ดอัลมอนต์ที่เหลือจากการผลิตเครื่องดื่มนมอัลมอนต์ (Siyunglek et al., 2020) จากการศึกษาที่ผ่านมาผู้วิจัยเล็งเห็นว่า กากมะพร้าวเหลือใช้เหล่านี้มีประโยชน์ต่อการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและสนใจที่จะศึกษาการนำกากมะพร้าวมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์มาการอง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มปริมาณใยอาหาร และเพิ่มความแปลกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์มาการอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มทางเลือกให้กับกลุ่มผู้บริโภคที่มีการแพ้ถั่วเปลือกแข็ง ช่วยให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงผลิตภัณฑ์มาการองได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการนำวัตถุดิบเหลือใช้ (Food waste) มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างเกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมอัลมอนต์ป่น

วิธีการเตรียมอัลมอนต์ป่น ใช้อัลมอนต์ทางการค้าสำเร็จรูปชนิดบดละเอียด โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงละเอียด 40 เมช แล้วนำอัลมอนต์เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำออกมาคนให้เข้ากัน อดต่ออีก 30 นาที นำออกจากเตาอบพักไว้ให้เย็นสนิท เก็บตัวอย่างอัลมอนต์ป่นใส่ถุงพลาสติกโพลิโพรพิลีนปิดปากถุงด้วยระบบสุญญากาศ เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และองค์ประกอบหลักในอาหาร

การเตรียมกากมะพร้าว

วิธีการเตรียมกากมะพร้าว ดัดแปลงจาก Thinkarn (2019) เริ่มจากใช้มะพร้าวชุดขาวน้ำหนัก 500 กรัม ต่อน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 ± 3 องศาเซลเซียส ปริมาตร 500 มิลลิลิตร มาปั่นด้วยเครื่องผสมที่ความเร็วรอบ 25,000 รอบ/นาที กำลัง 1,200 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที กรองผ่านผ้าขาวบาง บีบน้ำกะทิออก นำกากมะพร้าวคั้นรอบที่ 2 ด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 ± 3 องศาเซลเซียส ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ปั่นด้วยเครื่องผสมที่ความเร็วรอบ 25,000 รอบ/นาที กำลัง 1,200 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น บีบน้ำกะทิออกจนกระทั่งน้ำหนักกากมะพร้าวคงเหลือประมาณ 300 ± 5 กรัม นำกากมะพร้าวเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30

นาที แล้วนำออกมาคนให้เข้ากัน อดต่ออีก 30 นาที นำออกจากเตาอบพักไว้ให้เย็นสนิท ซึ่งน้ำหนักหลังอบเท่ากับ 200 ± 5 กรัม เก็บตัวอย่างกากมะพร้าวใส่ถุงพลาสติกโพลิโพรพิลีนปิดปากถุงด้วยระบบสุญญากาศ เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และองค์ประกอบหลักในอาหาร

การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของมาการอง

ทำการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของมาการองจากการศึกษาที่ผ่านมา ได้แก่ สูตร 1 (Boonsiriwit & Sriwarom, 2018) สูตร 2 (Panyayong & Khantasen, 2018) และสูตร 3 (Siyunglek et al., 2020) ส่วนผสมดัง Table 1 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) จากนั้นนำมาทำการทดลองที่ผลิตได้ มาทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน เพื่อคัดเลือกสูตรพื้นฐานที่มีคะแนนความชอบสูงที่สุดมาใช้ในการศึกษาต่อไป ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการอง ผู้วิจัยจะแจ้งข้อมูลที่อาจส่งผลต่อสุขภาพให้ผู้ทดสอบรับทราบก่อนการทดสอบ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการแพ้อาหารจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต และผู้วิจัยจะยุติการทดสอบทันที เมื่อผู้ทดสอบมีอาการแพ้จากอาหารดังกล่าว

การศึกษาประเภทของเมอแรงก์

ทำการศึกษาประเภทของเมอแรงก์ที่เหมาะสมต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ การยอมรับของผู้บริโภค โดยนำมาการองสูตรพื้นฐานที่ผู้บริโภคให้คะแนนชอบสูงที่สุดมาศึกษาโดยเปรียบเทียบประเภทของเมอแรงก์ระหว่างเฟรนช์เมอแรงก์ (French meringue) สวิสเมอแรงก์ (Swiss meringue) และอิตาลีเมอแรงก์ (Italian meringue) จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของมาการองทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณความชื้น ค่า pH และค่า a_w จากนั้นนำมาการองที่ผลิตได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน จากนั้นนำประเภทเมอแรงก์ที่มีคะแนนความชอบสูงที่สุดมาใช้ในการศึกษาต่อไป

วิธีการผลิตมาการอง

เริ่มจากการเตรียมเมอแรงก์ ดังนี้

1) เฟรนช์เมอแรงก์ (French Meringue) ตีไข่ขาวด้วยเครื่องผสมอาหาร (Kitchen Aid, รุ่น Heavy Duty, USA) ความเร็วปานกลาง 30 วินาที แล้วใส่น้ำตาลทรายครั้งละ 10 กรัม ทุก 1 นาที เมื่อไข่ขึ้นฟูเป็นฟองละเอียด ตีด้วยความเร็วสูงสุดของเครื่องนาน 4-5 นาที จนมีลักษณะตั้งยอด (Stiff peak)

2) สวิสเมอแรงก์ (Swiss Meringue) ผสมไข่ขาวและน้ำตาลทราย นำไปตั้งบนอ่างน้ำร้อนโดยไม่ให้น้ำร้อนสัมผัสกับภาชนะ (Bain-marie) อุณหภูมิ 55 ± 5 องศาเซลเซียส คนให้น้ำตาลทรายละลาย จากนั้นตีด้วยเครื่องผสมอาหารด้วยความเร็วสูงสุดของเครื่องนาน 4-5 นาที จนมีลักษณะตั้งยอด (Stiff peak)

3) อิตาลีเมอแรงก์ (Italian Meringue) ต้มน้ำตาลทรายและน้ำไฟปานกลาง จนเดือดที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส ทำการตีไข่ขาวด้วยเครื่องผสมอาหาร ความเร็วปานกลาง 30 วินาที จนมี

ลักษณะขึ้นฟูเป็นฟองละเอียด รินน้ำเชื่อมเป็นสายยาวในไข่ขาวตีด้วยความเร็วสูงสุดของเครื่องนาน 4-5 นาที จนมีลักษณะตั้งยอด (Stiff peak) จากนั้นนำอัลมอนต์ป่นและน้ำตาลไอซิ่งร่อนรวมกันด้วยตะแกรงขนาด 40 เมช 1 ครั้ง นำไปผสมกับเมือแรงก์ที่ตีไว้ ตระลอมด้วยพายยางให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นตักใส่ถุงบีบใช้หัวบีบเบอร์ 8 แล้วบีบเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 เซนติเมตร บนถาดอบที่รองด้วยกระดาษไข จากนั้นพักไว้ 10 นาที แล้วนำเข้าอบด้วยเตาอบ (Franke, รุ่น FO40012 96MXS ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ไฟบนล่าง ใช้เวลา 15 นาที พักให้เย็น

การศึกษาอัตราส่วนกากมะพร้าวเหลือใช้ในการผลิตมาการอง

ทำการศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมของกากมะพร้าวเหลือใช้ทดแทนในส่วนของผงอัลมอนต์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มไม่บล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) ซึ่งกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว เป็นดังนี้ 4:0 3:0.5 2:1 1:1.5 และ 0:2 จากนั้นทำการผลิตมาการองและนำมาการองที่ผลิตได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของมาการอง

นำตัวอย่างมาการองมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพดังนี้ การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Color Flex, USA รายงานค่าสีตามระบบ Hunter ค่าที่ปรากฏมีทั้งหมด 3 ค่า คือ ค่าสี L^* (ค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดยค่า 0 คือ ค่าความสว่างสีดำ และ 100 คือ ค่าความสว่างสีขาว) ค่าสี a^* (ค่า + คือวัตถุที่มีออกแดง และ ค่า - คือวัตถุที่มีออกเขียว) และ b^* (ค่า + คือวัตถุที่มีออกเหลือง และ ค่า - คือวัตถุที่มีออกน้ำเงิน) วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ และจดบันทึกค่า L^* a^* และ b^*

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงจาก Reitz (2016) ทำการทดลองวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT Plus texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd, Godalming, Surrey, UK) โดยใช้หัววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (P/100 probe) ระยะทางการกดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ความเร็วของหัววัด (test speed) เท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ทั้งขณะกดและกลับสู่ตำแหน่งเดิม (pre-post test) เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลา 5 วินาทีระหว่างกด ตัวอย่างที่วัดค่าเนื้อสัมผัสจะไม่มีการประกบเพื่อบรรจุไส้ มีเฉพาะส่วนที่เป็นตัวมาการองเท่านั้น น้ำหนักประมาณ 6-7 กรัม โดยวัดตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง จากนั้นรายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness) อ่านค่าจากแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดครั้งแรกและทำให้วัตถุแตก และค่าความกรอบ (Crispness) อ่านค่าจากจุดแรกที่ทำให้โครงสร้างภายในชิ้นอาหารเสียหายแต่ไม่แตกออกจากกัน หรือความสามารถในการแตกหัก รายงานผลเป็นหน่วยนิวตัน (N) และมิลลิเมตร (mm.) ตามลำดับทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้วิธีของ AOAC (2016) ซึ่งนำหนักตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ในภาชนะที่อบแห้งแล้ว (น้ำหนักคงที่) นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำไปใส่ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่เหลือ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณความชื้นของตัวอย่าง

การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ด้วยเครื่อง a_w meter (RS-232, AQUA Lab, USA) จำนวน 3 ซ้ำ จดบันทึกแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าวอเตอร์แอกติวิตี

การวิเคราะห์ค่า pH ด้วยการชั่งตัวอย่างมาการองปริมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ทำการโฮมจีไนซ์ด้วยเครื่องโฮมจีไนเซอร์ความเร็วระดับ 1 นาน 1 นาที และวัดค่าด้วยเครื่อง pH meter ทำการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในอาหาร วิเคราะห์องค์ประกอบหลักของตัวอย่างกากมะพร้าวและผลิตภัณฑ์มาการอง ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า ตามวิธี AOAC (2016) และคาร์โบไฮเดรต (คำนวณ)

วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพของการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS (SPSS 26.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) เพื่อวิเคราะห์ ความแปรปรวน (Analysis of variance) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของอัลมอนต์ป่นและกากมะพร้าว

ลักษณะปรากฏของกากมะพร้าวเป็นผงละเอียดสีขาวนวลแห้งและเบา ส่วนอัลมอนต์ป่น มีสีเหลืองปนน้ำตาล (Figure 1) และมีสมบัติทางกายภาพเคมีแสดงดัง Table 2



Figure 1 Almond powder (A) and Coconut powder (B).

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของอัลมอนต์และกากมะพร้าว พบว่า กากมะพร้าวมีความชื้นสูงกว่าอัลมอนต์ป่น โดยความชื้นของวัตถุดิบทางการเกษตรอย่างกากมะพร้าวส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yalegama et al. (2013) ที่ได้ศึกษากากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิและสกัดน้ำมันมะพร้าว โดยมีช่วงปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 2.50 และ 4.20 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้า ไขมัน และโปรตีน ที่พบในกากมะพร้าวมีค่าน้อยกว่าอัลมอนต์ป่น เนื่องจากในกระบวนการคั้นกะทิ (ปั่นรวมกับน้ำร้อน กรอง และบีบน้ำกะทิ) อาจจะมีวิตามินและแร่ธาตุละลายรวมไปกับน้ำ จึงทำให้ค่าเถ้าลดลง ขณะเดียวกันปริมาณไขมัน และโปรตีนก็ลดลง ในงานวิจัยของ Yalegama et al. (2013) กล่าวว่า ในกระบวนการคั้นกะทิด้วยน้ำเปล่า น้ำร้อน น้ำเดือด ร่วมกับออกแรงคั้น จะสามารถลดปริมาณไขมันของกากมะพร้าวลงจากร้อยละ 62 เหลือร้อยละ 42 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยหยาบของกากมะพร้าวมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากกากมะพร้าวที่ผ่านการคั้นกะทิหรือสกัดน้ำมันมะพร้าวแล้ว จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 57.35 (Marikkar & Madurapperuma, 2012) ทั้งนี้กากมะพร้าว

ที่ผ่านการกำจัดไขมันยังเป็นแหล่งของใยอาหารประเภทไม่ละลายน้ำ (Insoluble fiber) มากถึงร้อยละ 56 (Trinidad et al., 2006)

ผลของการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของมาการอง

ลักษณะปรากฏของมาการองทั้ง 3 สูตร พบว่ามาการองสูตร 2 มีสีเข้มที่สุด ขณะที่สูตร 3 มีสีอ่อนและมีความสว่างมากที่สุด ในด้านผิวสัมผัสของสูตร 1 ยังมีความประปรายกว่าสูตรอื่น ๆ สังเกตได้จากบริเวณผิวหน้าของมาการองที่มีการยุบตัว เกิดจากความชื้นสะสมของชิ้นตัวอย่างดัง Figure 2 ปริมาณน้ำตาลและส่วนผสมที่แตกต่างกันทำให้ความแข็งแรงของมาการองมีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับ Boonna et al. (2022) ที่ได้ศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำตาลในขนมปัง โดยน้ำตาลเกิดพันธะที่แข็งแรงกับโปรตีน เมื่อน้ำตาลหลังการอบและเย็นตัวลงจะอยู่ในรูปของผลึก

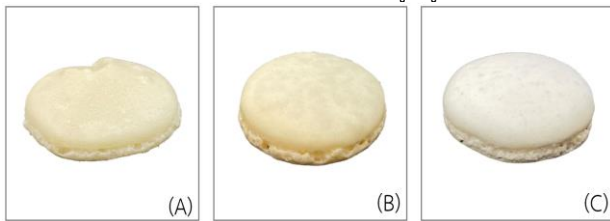


Figure 2 Characteristics of basic macarons. Formula 1 (A) Formula 2 (B) and Formula 3 (C).

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการองทั้ง 3 สูตร (Table 3) พบว่า คะแนนความชอบทุกด้านมีระดับความชอบอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.70 ถึง 8.17 อยู่ในเกณฑ์ระดับรู้สึกเฉย ๆ ถึงชอบมากที่สุด โดยมาการองสูตร 3 มีคะแนนความชอบสูงที่สุดทุกคุณลักษณะทั้งลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับสูตร 1 และ 2 ดังนั้นจึงเลือกมาการองสูตร 3 เป็นสูตรมาตรฐานในการศึกษาต่อไป

ผลของการศึกษาประเภทของเมอแรงก์

ลักษณะปรากฏของเมอแรงก์ทั้ง 3 ประเภท พบว่า เมื่อผสมส่วนผสมตามสูตรมาตรฐานด้วยกระบวนการตีไข่ขาวชนิดเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะที่เหลวกว่าอิตาเลียนเมอแรงก์ ทำให้ระหว่างการอบใช้ระยะเวลาสั้นกว่าที่ผิวหน้าจะแห้งก่อนนำเข้าอบ เนื่องจากน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิสูง (116-125 องศาเซลเซียส) ไข่ขาวสุกและแข็งตัว เมื่อถูกด้วยความเร็วส่วนผสมจึงคลายความร้อน ให้น้ำระเหยได้ดี เมอแรงก์จึงตั้งยอดและอยู่ตัวได้ดีที่สุด เนื้อสัมผัสละเอียด แน่น สีขาวและเงามากกว่าชนิดเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ เมื่อตัวอย่างทั้ง 3 ประเภทสุกแล้ว ขึ้นมาการองมีความสูงของขาใกล้เคียงกัน (Foot หรือ Skirt) ส่วนเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์จะมีฟองอากาศค่อนข้างมาก จะเห็นได้ว่ามาการองหลังอบจะมีขนาดฟองอากาศค่อนข้างมากทำให้ตัวอย่างมีความประปราย (Figure 3)

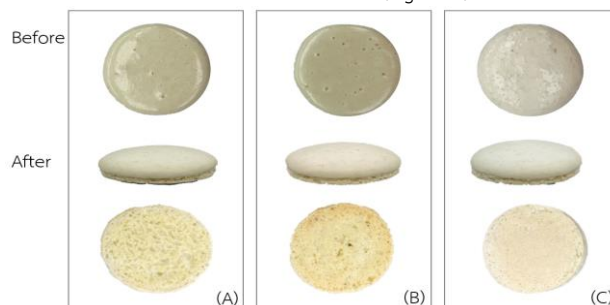


Figure 3 Appearance of macarons. French meringue (A), Swiss meringue (B) and Italian meringue (C).

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีของมาการองที่เติมเมอแรงก์ทั้ง 3 ประเภท เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่าง (ค่า L^*) ค่าความเป็นสีแดง (ค่า a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (ค่า b^*) พบว่า อิตาเลียนเมอแรงก์ มีค่า L^* สูงกว่า เฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกัน ค่า a^* และ ค่า b^* ของอิตาเลียนเมอแรงก์ มีค่าต่ำกว่าเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ ส่วนปริมาณความชื้นและค่า a_w มีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน โดยปริมาณความชื้นและค่า a_w ของอิตาเลียนเมอแรงก์มีค่าต่ำกว่าเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ สำหรับค่า pH ของเมอแรงก์ทั้ง 3 ประเภท มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในส่วนค่าความแข็ง (Hardness) อิตาเลียนเมอแรงก์มีค่าสูงที่สุด ตามด้วยสวิสเมอแรงก์ และเฟรนช์เมอแรงก์ตามลำดับ ส่วนค่าความกรอบ (Crispness) มีค่าสวนทางกับค่าความแข็ง (Table 4)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการองทั้ง 3 ประเภทของเมอแรงก์ (Table 5) พบว่า คะแนนความชอบทุกด้านมีระดับความชอบอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.10 ถึง 8.00 จัดอยู่ในเกณฑ์ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของประเภทของเมอแรงก์ทั้ง 3 ประเภท พบว่า อิตาเลียนเมอแรงก์มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบทุกด้านสูงกว่าเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ ($p < 0.05$) ยกเว้นคะแนนความชอบด้านสีของอิตาเลียนเมอแรงก์แตกต่างกับสวิสเมอแรงก์อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการศึกษาประเภทของเมอแรงก์ทำให้ทราบว่าเทคนิคการตีเมอแรงก์ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของไข่ขาว เนื่องจากเทคนิคการตีไข่แบบเฟรนช์เมอแรงก์ (ตีไข่กับน้ำตาล) และสวิสเมอแรงก์ (ตีไข่กับน้ำตาลบนอ่างน้ำร้อน) ทำให้ไข่ขาวสุกไม่เต็มที่ ส่วนผสมจึงมีความเหลวเกินไป ส่งผลทำให้ส่วนผสมฟองอากาศมาก รูปทรงและขึ้นมาการองมีโพรงอากาศที่ไม่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับเทคนิคการตีเมอแรงก์ชนิดอิตาเลียนเมอแรงก์ที่ใช้น้ำเชื่อมในอุณหภูมิ 116-121 องศาเซลเซียสตีผสมกับไข่ขาว จึงทำให้ไข่ขาวมีการตั้งยอด และแข็งแรงมากขึ้น โดยน้ำตาลและอุณหภูมิจะช่วยลดกำลังการเกิดฟองของโปรตีน และช่วยยับยั้งการเสียสภาพของโปรตีนด้วยความร้อน ทำให้โครงสร้างไข่ขาวแข็งแรง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang & Foegeding (2010) กล่าวว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลหรือน้ำเชื่อมช่วงร้อยละ 44.30-88.60 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ สามารถเพิ่มความหนืดในไข่ขาวและลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์เค้กได้ โดยปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในสูตรมาตรฐานอยู่ที่ระดับร้อยละ 47.62 โดยน้ำหนัก จึงทำให้โปรตีนมีค่ากำลังการเกิดฟองลดลง น้ำตาลจะไปยับยั้งการรวมตัว (Incorporation) ของฟองอากาศในสารละลาย นอกจากนั้นน้ำตาลยังส่งผลในการเพิ่มความคงตัวของฟอง เนื่องจากการเพิ่ม Bulk viscosity และ Surface tension (Chiralaksanakul, 2018)

ค่าสีของมาการองเกิดจากไข่ขาวและน้ำตาลทรายเป็นปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) ระหว่างการอบแห้ง (Quan & Benjakul, 2019) จึงทำให้มาการองมีค่า L^* ค่า a^* และค่า b^* ใกล้เคียงกัน เทคนิคชนิดอิตาเลียนเมอแรงก์ที่ใช้น้ำเชื่อมอุณหภูมิส่งผลทำให้ความชื้น และค่า a_w มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 ประเภท อาจเกิดการระเหยน้ำในไข่ขาวระหว่างตีเมอแรงก์ ในส่วนค่าความแข็งและค่าความกรอบมีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกับค่าความชื้น และค่า a_w สอดคล้องกับผลการทดลองของ Siyunglek et al. (2020) ซึ่งจากการทดลองนี้ค่า a_w กับค่า

ความแข็งและค่าความกรอบที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนค่า pH ของตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลของการศึกษาอัตราส่วนอัลมอนต์ต่อกากมะพร้าวในการผลิตมาการอง

ลักษณะของมาการองในแต่ละอัตราส่วนของอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวทั้ง 5 สูตร จะเห็นได้ว่ามาการองที่เพิ่มสัดส่วนของกากมะพร้าวมากขึ้น ตัวอย่างมาการองจะมีสีที่เข้ม (สีเหลือง) ขึ้นตามลำดับ โดยผิวหน้าของขึ้นมาการองมีผิวขรุขระ ไม่เรียบกระจายทั่วทั้งชิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสูตร 5 ซึ่งมีลักษณะผิวหน้าก่อนอบขรุขระมากที่สุด เมื่อนำตัวอย่างไปอบให้สุก ตัวอย่างมาการองมีขาวทุกตัวอย่าง โดยความสูงของขาสูตร 4 และ 5 มีความสูงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่เดียวกันลักษณะกันของฝากภายในของชิ้นตัวอย่างมีสีที่เข้มตามลำดับ ดัง Figure 4 ลักษณะของมาการองในแต่ละอัตราส่วนของอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวทั้ง 5 สูตร มาการองที่เพิ่มสัดส่วนของกากมะพร้าวมากขึ้นจะมีสีที่เข้ม (สีเหลือง) ขึ้นตามลำดับ เนื่องจากกากมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร ทำให้มีการดูดความชื้นในส่วนผสมทำให้ตัวอย่างมีลักษณะหยาบ เนื้อไม่เนียน

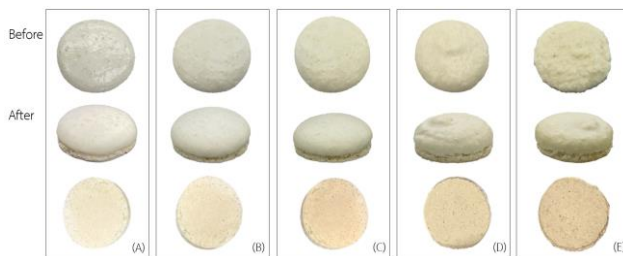


Figure 4 Macaron appearance from different ratios of almond powder to coconut powder: Formula 1 (A), Formula 2 (B), Formula 3 (C), Formula 4 (D) and Formula 5 (E).

จากการศึกษาอัตราส่วนอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวในการผลิตมาการองด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการองทั้ง 5 สูตร (Table 6) พบว่า คะแนนความชอบของมาการองสูตร 1 ถึง 3 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม การเพิ่มสัดส่วนกากมะพร้าวที่มากขึ้น ส่งผลทำให้คะแนนความชอบมีแนวโน้มลดลงทุก ๆ คุณลักษณะ โดยกากมะพร้าวส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบในคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น สี กลิ่น และรสชาติ โดยความเห็นของผู้ทดสอบได้ให้ความคิดเห็นในเรื่องกลิ่นและเนื้อสัมผัสของมาการองสูตร 4 และ 5 เช่น กลิ่นมะพร้าวแรงเกินไป เนื้อสัมผัสแข็งกระด้างเล็กน้อย เนื้อสัมผัสหยาบ เป็นต้น เนื่องจากมาการองสูตร 4 และ 5 มีสัดส่วนของกากมะพร้าวที่อัตราส่วน 1:1.5 และ 0:2 อัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว)ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่เห็นด้วยกับการใส่กากมะพร้าวที่มากเกินไป

ผลของการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของมาการอง

การวิเคราะห์ค่าสีของมาการองที่มีอัตราส่วนอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวที่แตกต่างกันทั้ง 5 สูตร (Table 7) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากมะพร้าวในตัวอย่างมาการองสูงขึ้น ทำให้ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า a^* และค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Wirkijowska et al. (2021) การเพิ่มกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิและที่เหลือจากการสกัดน้ำมันในขนมปัง และการศึกษาของ Sykut-Domańska et al. (2020) ที่เพิ่มกากมะพร้าวที่เหลือจากโรงงานในเส้นพาสต้าทำให้ค่า a^* และค่า b^* สูงขึ้น ขณะเดียวกัน Eadmusik, et al.

(2022) รายงานว่าการเสริมกากมะพร้าวในผลิตภัณฑ์โดนัททำให้แนวโน้มของค่าของสีเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) และปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) เพราะในมะพร้าวมีทั้งน้ำตาลรีดิซ (กลูโคสและฟรุคโตส) และน้ำตาลซูโครส รวมไปถึงยังเหลือโปรตีนบางส่วนที่อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้

ปริมาณความชื้นทั้ง 5 สูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) ของตัวอย่างมาการองสูตร 1 ถึง 3 แตกต่างอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนค่า pH ของมาการองสูตร 1 ถึง 5 แตกต่างอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้านสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของมาการองจากวิธี TPA จะเห็นได้ว่า เมื่อกากมะพร้าวในตัวอย่างมาการองสูงขึ้น ตัวอย่างมาการองจะมีค่าความแข็งสูงขึ้น และค่าความกรอบลดลงตามลำดับ

การเพิ่มปริมาณกากมะพร้าวสูงขึ้นอัตราส่วน 1:1.5 (อัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว) หรือสูตร 4 ส่งผลให้ค่า a_w ไม่เปลี่ยนแปลงจากสูตรควบคุม แต่เมื่อเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วน 0:2 หรือสูตร 5 ทำให้ค่า a_w มีค่าลดลง ซึ่งค่า a_w ของตัวอย่างทั้ง 5 สูตรถือว่ามีความค่อนข้างต่ำ ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 และความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และช่วยลดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Thai Industrial Standards Institute, 2005) ค่า a_w และความชื้นขึ้นขึ้นกับกระบวนการผลิต อาจเกิดจากปัจจัยเรื่องอุณหภูมิ ระยะเวลาในการอบแห้ง รวมถึงวิธีการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่อการเพิ่มหรือลดของค่า a_w และปริมาณความชื้น ในส่วนของค่า pH ของตัวอย่างทั้ง 5 สูตร พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนของขา (Foot หรือ Skirt) มีความสูงขึ้น เนื่องจากกากมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร ช่วยดูดความชื้นในส่วนผสมไว้ได้ เมื่ออบในระยะเวลาและอุณหภูมิที่เท่ากัน จึงส่งผลให้มีสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Adeloje et al. (2020) ที่รายงานว่า การเพิ่มปริมาณกากมะพร้าว (Defatted coconut flour) ในอาหารจะลดความหนาแน่นรวม (Bulk density) และลดความสามารถในการเกิดฟอง (Foaming capacity) และเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water absorption capacity) ได้

ค่าความแข็งที่สูงขึ้น และค่าความกรอบที่ลดลง ขึ้นกับสัดส่วนของการเพิ่มกากมะพร้าว กากมะพร้าวที่มีคุณสมบัติเป็นใยอาหารเข้าปอดฟองอากาศ เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ และลดความสามารถในการเกิดฟอง (Adeloje et al., 2020) โดยปริมาณใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายในน้ำ จะส่งผลให้มาการองมีค่าความแข็งมากขึ้น เช่น เซลลูโลสที่มีกลูโคสจำนวนมากเกาะกันอยู่ มีการจัดเรียงตัว ด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งปีต้า-1,4 (β -1,4) จึงทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงไม่แตกหักง่าย ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นแบบพอลิคิสตัลไลน์ (Polycrystalline) ซึ่งมีความแข็งแรงและยึดเกาะเป็นเส้นใยอาหาร (Siyunglek et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wirkijowska et al. (2021) ที่กล่าวว่าเมื่อเพิ่มกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิและที่เหลือจากการสกัดน้ำมันในขนมปังทำให้ค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้น

ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของมาการองที่มีการทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยกากมะพร้าวระดับต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในมาการองที่มีอัตราส่วนอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวที่แตกต่างกันทั้ง 5 สูตร (Table 8) พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยหยาบมีแนวโน้มสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณ

โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้น มีค่าลดลงตามลำดับเมื่อมีการทดแทน อัลมอนต์ป่นด้วยกากมะพร้าวเพิ่มขึ้น

การเพิ่มกากมะพร้าวสูงขึ้นส่งผลต่อแนวโน้มของการเพิ่มใยอาหาร ในตัวอย่างมาการอง Portugal et al. (2013) กล่าวว่าใยอาหารจัดว่าเป็น ตัวช่วยสำคัญของโภชนาการที่ดี ใยอาหารเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถ ย่อยหรือดูดซึมในลำไส้เล็กได้ ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จะช่วยลดการดูด ซึบกลูโคสและคอเลสเตอรอลเข้าสู่กระแสเลือดระหว่างการย่อยอาหาร และในส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะจับกับน้ำเมื่อผ่านทางเดินอาหาร ทำให้อุจจาระนุ่ม เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส อีกทั้งยังช่วยป้องกันการ เกิดโรคริดสีดวงทวาร อาการท้องผูก และช่วยลดความเสี่ยงของมะเร็ง บางชนิด โดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ จากการบริโภคอาหารที่อุดมด้วยใยอาหาร ชนิดที่ไม่ละลายน้ำ จากการวิจัยของ Trinidad et al. (2006) แป้งมะพร้าว มีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 60.90 ซึ่งประกอบด้วย ชนิดที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 56.8 และชนิดละลายน้ำได้ร้อยละ 3.80 ทำให้เห็นว่ากากมะพร้าวที่ เหลือจากการกำจัดไขมันมีปริมาณใยอาหารที่สูง

สรุปผลการวิจัย

กากมะพร้าวเหลือใช้มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 89.77

0.41 และ 9.51 ตามลำดับ ค่า a_w เท่ากับ 0.6 และมีปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 4.10 เถ้าเท่ากับร้อยละ 1.21 ไขมันเท่ากับร้อยละ 42.41 โปรตีนเท่ากับร้อยละ 4.27 คาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 48.01 และเส้นใยเท่ากับร้อยละ 36.27 ซึ่งเทคนิคการตีเมอแรงก์ชนิด อิตาเลียนส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของไข่ขาว การเพิ่ม สัดส่วนกากมะพร้าวสูงขึ้นในมาการองทำให้ค่า L^* ลดลง ขณะที่ค่า a^* และค่า b^* เพิ่มขึ้น ค่า a_w ที่อัตราส่วน 1:1.5 (อัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว) มีค่าไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม โดยค่าความชื้นและค่า a_w มี ค่าไม่เกินค่ากำหนดของมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ส่วนค่า ความแข็ง (Hardness) มีค่าสูงขึ้น และค่าความกรอบ (Crispness) ลดลงตามสัดส่วนของกากมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณกากมะพร้าวสูงขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มใยอาหารในตัวอย่างมาการอง ซึ่งส่งผลดีต่อคุณค่าทาง โภชนาการ โดยอัตราส่วน 2:1 (อัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว) เป็น สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตมาการองจากกากมะพร้าว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนวิจัยภายใน วิทยาลัยดุสิตธานี ประจำปีการศึกษา 3/2563

Table 1 Basic macaron recipe ingredients

Ingredients	Basic Macaron (g)		
	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Almond powder	100	140	250
Icing sugar	168	196	250
Castor sugar	23	30	250
Water	-	-	120
Egg white	83	100	180

Table 2 Physicochemical properties of almond powder and coconut powder

Physicochemical property	Almond powder	Coconut powder
Color		
L^*	77.93 ± 0.17 ^b	89.77 ± 0.14 ^a
a^*	0.99 ± 0.09 ^a	0.41 ± 0.10 ^b
b^*	22.53 ± 0.07 ^a	9.51 ± 0.20 ^b
a_w	0.60 ± 0.01 ^a	0.51 ± 0.03 ^b
Proximate (% Dried)		
Moisture	3.81 ± 0.15 ^b	4.10 ± 0.07 ^a
Fat	54.53 ± 0.16 ^a	42.41 ± 0.09 ^b
Protein	18.29 ± 0.11 ^a	4.27 ± 0.11 ^b
Ash	3.51 ± 0.08 ^a	1.21 ± 0.05 ^b
Carbohydrate	19.86 ± 0.21 ^b	48.01 ± 0.04 ^a
Crude fiber	17.49 ± 0.43 ^b	36.27 ± 0.08 ^a

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 3 Sensory test of basic macaron recipe

Characteristics	Basic Macaron		
	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Appearance	5.87 ± 1.11 ^c	6.60 ± 1.13 ^b	7.53 ± 0.94 ^a
Color	5.50 ± 1.07 ^c	6.97 ± 1.03 ^b	7.83 ± 0.99 ^a
Flavor	5.77 ± 0.82 ^c	6.53 ± 1.20 ^b	8.03 ± 0.93 ^a
Taste	5.67 ± 0.71 ^c	6.67 ± 0.96 ^b	8.07 ± 0.98 ^a
Texture	4.70 ± 0.92 ^c	6.40 ± 1.38 ^b	8.07 ± 0.87 ^a
Overall Liking	5.67 ± 0.96 ^c	6.53 ± 1.04 ^b	8.17 ± 0.83 ^a

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 4 Physicochemical properties of meringue types

Physicochemical property	French meringue	Swiss meringue	Italian meringue
Color			
L^*	79.74 ± 2.12 ^c	83.53 ± 1.55 ^b	88.12 ± 1.05 ^a
a^*	3.68 ± 0.27 ^a	3.22 ± 0.44 ^a	2.69 ± 0.32 ^b
b^*	16.96 ± 0.46 ^a	15.07 ± 0.41 ^a	14.18 ± 0.49 ^c
Moisture (%)	3.60 ± 0.10 ^a	3.41 ± 0.12 ^b	3.21 ± 0.06 ^c
a_w	0.58 ± 0.01 ^a	0.52 ± 0.01 ^b	0.48 ± 0.01 ^c
pH	6.26 ± 0.01 ^a	6.28 ± 0.01 ^a	6.27 ± 0.01 ^a
Hardness (N)	228.69 ± 13.96 ^c	266.34 ± 14.78 ^b	371.94 ± 11.18 ^a
Crispness (mm)	0.76 ± 0.09 ^a	0.69 ± 0.08 ^b	0.63 ± 0.07 ^b

Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 5 Sensory test of meringue type

Characteristics	French meringue	Swiss meringue	Italian meringue
Appearance	6.37 ± 1.07 ^b	6.70 ± 1.44 ^b	7.37 ± 1.06 ^a
Color	6.40 ± 1.13 ^b	7.03 ± 1.40 ^a	7.30 ± 1.05 ^a
Flavor	6.10 ± 1.12 ^b	6.70 ± 1.62 ^b	7.53 ± 1.22 ^a
Taste	6.33 ± 1.06 ^b	6.27 ± 1.36 ^b	7.53 ± 1.20 ^a
Texture	6.60 ± 1.19 ^b	6.90 ± 1.45 ^b	8.00 ± 1.08 ^a
Overall Liking	6.43 ± 1.07 ^b	6.76 ± 1.28 ^b	7.73 ± 1.05 ^a

Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 6 Sensory test of macaron from different ratios of almond powder to coconut powder

Characteristics	Macaron (Almond powder: Coconut powder)				
	Formula 1 (4: 0)	Formula 2 (3: 0.5)	Formula 3 (2: 1)	Formula 4 (1: 1.5)	Formula 5 (0: 2)
Appearance	7.64 ± 0.75 ^a	7.42 ± 0.84 ^a	7.42 ± 0.67 ^a	6.82 ± 0.59 ^b	6.56 ± 0.70 ^b
Color	7.82 ± 0.80 ^a	7.46 ± 0.99 ^b	7.62 ± 0.73 ^{ab}	6.78 ± 0.74 ^c	6.04 ± 0.90 ^d
Flavor	7.82 ± 0.90 ^a	7.46 ± 0.73 ^b	7.58 ± 0.64 ^{ab}	7.16 ± 0.65 ^c	6.72 ± 0.76 ^d
Taste	8.00 ± 0.86 ^a	7.66 ± 0.85 ^b	7.56 ± 0.79 ^b	6.94 ± 0.71 ^c	6.54 ± 0.68 ^d
Texture	7.88 ± 0.85 ^a	7.76 ± 0.82 ^a	7.70 ± 0.79 ^a	6.98 ± 0.68 ^b	6.30 ± 0.58 ^c
Overall Liking	7.92 ± 0.83 ^a	7.70 ± 0.95 ^a	7.60 ± 0.81 ^a	7.04 ± 0.83 ^b	6.68 ± 0.77 ^c

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 7 Physicochemical properties of macaron from different ratios of almond powder to coconut powder

Physicochemical property	Macaron (Almond powder: Coconut powder)				
	Formula 1 (4:0)	Formula 2 (3:0.5)	Formula 3 (2:1)	Formula 4 (1:1.5)	Formula 5 (0:2)
Color					
L^*	87.92 ± 0.08 ^a	85.34 ± 0.26 ^b	84.91 ± 0.10 ^b	81.95 ± 0.45 ^c	77.63 ± 0.92 ^d
a^*	1.99 ± 0.02 ^b	2.02 ± 0.05 ^b	2.40 ± 0.32 ^{ab}	2.38 ± 0.59 ^{ab}	2.78 ± 0.43 ^{ab}
b^*	13.78 ± 0.12 ^d	14.87 ± 0.07 ^c	14.90 ± 0.28 ^c	17.17 ± 0.50 ^b	18.57 ± 0.69 ^a
Moisture (%)	4.15 ± 0.03 ^a	3.96 ± 0.08 ^b	3.78 ± 0.09 ^c	3.53 ± 0.09 ^d	3.16 ± 0.08 ^e
a_w	0.48 ± 0.02 ^a	0.49 ± 0.02 ^a	0.48 ± 0.01 ^a	0.45 ± 0.04 ^{ab}	0.41 ± 0.05 ^b
pH	6.58 ± 0.02 ^a	6.61 ± 0.01 ^a	6.59 ± 0.02 ^a	6.62 ± 0.02 ^a	6.62 ± 0.01 ^a
Hardness (N)	370.94 ± 8.50 ^d	375.93 ± 12.32 ^{cd}	384.34 ± 10.03 ^c	424.56 ± 9.90 ^b	466.34 ± 14.78 ^a
Crispness (mm)	0.79 ± 0.05 ^a	0.68 ± 0.08 ^b	0.66 ± 0.08 ^b	0.61 ± 0.09 ^c	0.59 ± 0.09 ^c

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 8 Proximate of macaron from different ratios of almond powder to coconut powder

Proximate	Macaron (Almond powder: Coconut powder)				
	Formula 1 (4:0)	Formula 2 (3:0.5)	Formula 3 (2:1)	Formula 4 (1:1.5)	Formula 5 (0:2)
Carbohydrate	56.21 ± 0.11 ^c	57.32 ± 0.28 ^b	58.94 ± 0.19 ^b	59.81 ± 0.07 ^a	61.29 ± 0.15 ^a
Protein	21.53 ± 0.16 ^a	21.37 ± 0.09 ^a	20.88 ± 0.07 ^b	20.95 ± 0.11 ^{ab}	20.02 ± 0.05 ^c
Fat	16.21 ± 0.26 ^a	15.76 ± 0.13 ^{ab}	15.24 ± 0.15 ^b	14.82 ± 0.24 ^c	14.54 ± 0.19 ^c
Ash	1.92 ± 0.03 ^a	1.64 ± 0.01 ^b	1.12 ± 0.02 ^c	0.81 ± 0.01 ^d	0.66 ± 0.01 ^e
Crude fiber	2.47 ± 0.14 ^e	3.27 ± 0.11 ^d	4.02 ± 0.09 ^c	5.49 ± 0.15 ^b	6.48 ± 0.12 ^a
Moisture	4.13 ± 0.03 ^a	3.91 ± 0.04 ^b	3.82 ± 0.02 ^c	3.61 ± 0.02 ^d	3.49 ± 0.03 ^e

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

References

- Adeloye, J. B., Osho, H., & Idris, L. O. (2020). Defatted coconut flour improved the bioactive components, dietary fibre, antioxidant and sensory properties of nixtamalized maize flour. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2(4), 100042. doi: 10.1016/j.jafr.2020.100042
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). *Official methods of analysis*. (20thed.). Washington D.C., United States: Association of Analytical Chemists.
- Boonna, P., Manarote, A., Panyathitpong, W., & Masavang, S. (2022). Effect of sugar content on physical and sensory properties of tapioca-based cookies. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, 21(2), 14-25. (in Thai) doi: 10.14456/jarst.2022.14
- Boonsiriwit, A., & Sriwarom, N. (2018). Processing of egg white pastries (macaroon) by using peanut and cashew nut powder as almond powder replacement. *Dusit Thani College Journal*, 12(2), 182-192. (in Thai)
- Chinnasarn, S., & Chinnasarn, K. (2015). *Extraction and utilization of dietary fiber and cellulose from coconut residue for value creation of agricultural by-products and mass transfer prediction models during frying process* (Research report). Chonburi, Thailand: Burapha University. (in Thai)
- Chiralaksanakul, N. (2018). *Effects of mixing time before baking, egg white aging, reduction of sugar and icing sugar content on the quality of macaron shells* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Chomchom, N., Uppathak, C. & Sakunyuenyongsuk, N. (2013). *Development of Thai dessert product from used coconut residue* (Research report). Bangkok, Thailand: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)
- Department of Agriculture. (2020). *Coconut production situation*. Accessed May 6, 2022. Retrieved from <https://www.doa.go.th>. (in Thai)
- Eadmusik, S., Phungamngoen, C., Panphut, W., & Budsabun, T. (2022). Partially substitution of wheat flour by coconut residues in bakery products and their physical and sensorial properties. *Food Research*, 6(1), 99-105. doi: 10.26656/fr.2017.6(1).140
- Marikkar, J. M. N., & Madurapperuma, W. S. (2012). Coconut. In M. Siddiq (Ed.) *Tropical and subtropical fruits: Postharvest physiology, processing and packaging* (pp. 159-177). Iowa, USA: John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781118324097.ch9
- Panyayong, C., & Khantasen, V. (2018). Development of almond powder substitute macaron form cashew nut powder. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, 10(19), 14-30. (in Thai)
- Pedcharat, K., Sae-Tang, D., & Tungsatitporn, D. (2014). *Development of food products from used coconut residue*. (Research Report). Bangkok, Thailand: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)
- Portugal, T. R., Parcon, M. R. V., & Udarbe, M. A. (2013). Proficiency test on total dietary fiber in wheat flour. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(2), 82-87.
- Quan, T. H., & Benjakul, S. (2019). Duck egg albumen: physicochemical and functional properties as affected by storage and processing. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1104-1115. doi: 10.1007/s13197-019-03669-x
- Raiva, P. (2016). *Thai bakery industry*. Accessed July 20, 2022. Retrieved from http://fic.nfi.or.th/foodindustry_ceo_view.php?smid=1126. (in Thai)
- Reitz, N. F. (2016). *Investigating the chemical basis of functionality differences between beet and cane sugar sources in model egg white foams and other products* (Master's thesis). Illinois, United States: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Siyunglek, M., Techakriengkrai, T., & Siriwong, N. (2020). Preparation and application of dried almond residue for substitution of almond flour in macaron. *Thai Science and Technology Journal*, 28(9), 1572-1584. (in Thai) doi: 10.14456/tstj.2020.125
- Sykut-Domańska, E., Zarzycki, P., Sobota, A., Teterycz, D., Wirkijowska, A., Blicharz-Kania, A., Andrejko, D., & Mazurkiewicz, J. (2020). The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14490. doi: 10.1111/jfpp.14490
- Thai Industrial Standards Institute. (2005). *Thai community product standard of Khanom Ping*. TCPS no. 745/2548. Bangkok, Thailand: Thai Industrial Standards Institute. (in Thai)
- Thinkarn, K. (2019). *Coconut meal clay development for craft products* (Master's thesis). Pathum Thani, Thailand: Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Trinidad, T. P., Mallillin, A. C., Valdez, D. H., Loyola, A. S., Askali-Mercado, F. C., Castillo, J. C., Encabo,

- R. R., Masa, D. B., Maglaya, A. S., & Chua, M. T. (2006). Dietary fiber from coconut flour: a functional food. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(4), 309-317. doi: 10.1016/j.ifset.2004.04.003
- Wirkijowska, A., Sobota, A., Zarzycki, P., Nawrocka, A., Blicharz-Kania, A., & Andrejko, D. (2021). Chemical, technological, and sensory evaluation of the suitability of coconut by-products in white rolls. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(8), 3370-3378. doi: 10.1002/jsfa.11684
- Yalegama, L. L. W. C., Karunaratne, D. N., Sivakanesan, R., & Jayasekara, C. (2013). Chemical and functional properties of fibre concentrates obtained from by-products of coconut kernel. *Food Chemistry*, 141(1), 124-130. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.02.118
- Yang, X., & Foegeding, E. A. (2010). Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: factors determining properties of wet and dry foams (cakes). *Food Hydrocolloids*, 24(2-3), 227-238. doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.09.011

Research article

Development of macaron product from used coconut residue

Korawit Sakkaekaew¹ and Chodsana Sriket²

¹Department of Culinary Arts and Kitchen Management, Faculty of Hospitality Industry, Dusit Thani College, Prawet district Bangkok, 10250

²Food Innovation and Management Program, Department of General Science and Liberal Arts, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Pathio, district, Chumphon Province, 86160

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 13 March 2024

Revised: 9 May 2024

Accepted: 10 May 2024

Online published: 30 May 2024

Keyword

Macaron

Meringue

Used Coconut Residue

ABSTRACT

This research examines the development of macarons using coconut residue. Physicochemical properties, types of meringues, effects on quality, nutritional value, and consumer acceptance of macarons were analyzed. Coconut residue showed $L^* a^* b^*$ values of 89.77, 0.41, and 9.51, respectively, with moisture, ash, fat, protein, carbohydrate, and dietary fiber percentages being 4.10, 1.21, 42.41, 4.27, 48.01, and 36.27, respectively. It was found that the Italian meringue technique shows the structural strength of egg whites. Sensory evaluation indicated that Italian meringue was more preferred than French or Swiss types. Increasing coconut residue in the macaron recipe reduced the L^* value while increasing a^* and b^* values without significantly affecting moisture and water activity (a_w) compared to the control recipe. Hardness increased, but crispness decreased as the proportion of coconut residue rose. Furthermore, dietary fiber in macarons increased with higher coconut residue content. Consumer acceptance tests showed that macarons with a ratio of 2:1 (almond powder: coconut powder) were accepted similarly to the control recipe, but acceptance tended to decrease with higher coconut residue ratios. Thus, using a ratio of 2:1 (almond powder: coconut powder) in macaron production is deemed optimal, enhancing nutritional value while maintaining high consumer acceptance, and presenting a new approach to utilizing leftover materials effectively.

*Corresponding author

E-mail address: chodsana.sr@kmitl.ac.th (C. Sriket)

Online print: 30 May 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.15>