



<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrnu/index>

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกจากผลไม้โดยวิธีการพ่นที่ตอบสนอง

นันทา เป็งเนตร์ และ วิชา ประพินอักษร*

สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ ประเทศไทย 53000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 25 กันยายน 2567

แก้ไข: 18 ตุลาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 20 พฤศจิกายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 12 ธันวาคม 2567

คำสำคัญ

การทดลองแบบผสม

เม็ดไข่มุก

แป้งเท้ายายม่อม

พื้นที่ผิวตอบสนอง

ใยอาหาร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเม็ดไข่มุกจากผลไม้โดยการแปรผันปริมาณแป้งเท้ายายม่อมแทนการใช้แป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนร้อยละ 0-20 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลไม้ในการพัฒนาสูตรเม็ดไข่มุกโดยใช้การทดลองแบบผสมที่กำหนดปัจจัยแบบไม่กำหนดช่วง ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ สับปะรด (ร้อยละ 0-100) กล้วยน้ำว่า (ร้อยละ 0-100) และฝรั่ง (ร้อยละ 0-100) รวมน้ำหนักทั้ง 3 ส่วน คิดเป็นร้อยละ 10 ของสูตรที่เติมลงในส่วนผสมของเม็ดไข่มุกและศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย ผลการศึกษาพบว่า การแปรผันปริมาณแป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมมีผลต่อคุณลักษณะค่าความแข็งและความยืดหยุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้แป้งเท้ายายม่อมอัตราร้อยละ 15 เพื่อทดแทนแป้งมันสำปะหลังในสูตรส่งผลทำให้ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ค่าสี L^* a^* และ b^* สูงสุดเท่ากับ 22.22 g ร้อยละ 64.85 23.0 2.08 และ 7.63 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์พื้นที่ตอบสนองแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจของค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 0.9859 0.9991 0.9980 0.7226 และ 0.9749 ตามลำดับ สูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาเม็ดไข่มุกจากผลไม้ คือ สับปะรดร้อยละ 19.50 กล้วยน้ำว่าร้อยละ 29.57 และฝรั่งร้อยละ 50.93 ในด้านคุณค่าทางโภชนาการของเม็ดไข่มุกผลไม้ 100 กรัม พบว่ามีพลังงานทั้งหมด 149.76 กิโลแคลอรี โปรตีนร้อยละ 3.27 ไขมันร้อยละ 1.11 เส้นใยร้อยละ 3.60 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.99 คุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และรา น้อยกว่า 10^3 CFU/g และ 10 CFU/g ตามลำดับ อย่างไรก็ตามตรวจไม่พบ *E.coli* ในผลิตภัณฑ์

บทนำ

เม็ดไข่มุก (tapioca pearl) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมักจะถูกใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องดื่มน้ำ โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณประมาณ 1 ใน 4 ของเครื่องดื่มน้ำ หรือประมาณ 33 กรัม เม็ดไข่มุกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังมีความใส มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียวนุ่มแต่ไม่หนืด ทำให้การเคี้ยวไม่ให้ความรู้สึกเต็มอ้อม คุณค่าทางโภชนาการของเม็ดไข่มุก 100 กรัม ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 88.7 กรัม โปรตีน 0.19 กรัม ไขมันทั้งหมด 0.02 กรัม เถ้า 0.11 กรัม ใยอาหาร 0.90 กรัม น้ำตาล 3.35 กรัม โซเดียม 1 มิลลิกรัม และพลังงาน 358 กิโลแคลอรี (USDA, 2019) การบริโภคไข่มุกในปริมาณมากและต่อเนื่องอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพหลายประการ เช่น เกิดภาวะท้องอืดหรือท้องผูก เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงเนื่องจากไข่มุกประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตสูงและใยอาหารต่ำซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบย่อยอาหารและน้ำตาลในเลือดได้มันสำปะหลังเป็นอาหารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเมื่อถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย

จะส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น จึงอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคที่มีปัญหาในการควบคุมระดับน้ำตาล (Rattanajarusroj & Srijesdaruk, 2015) การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังมีอยู่ในรูปแบบของแป้งดิบ (native starch) และแป้งดัดแปร (modified starch) โดยการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยใช้วิธีทางเคมี ทางกายภาพและทางชีวภาพ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ปัจจุบันมีการดัดแปรแป้งเป็นแป้งเพื่อสุขภาพ เช่น แป้งต้านทานต่อเอนไซม์และเด็กซ์ทรินต้านทานต่อเอนไซม์ ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติเหมือนใยอาหารจากธรรมชาติ ปัจจุบันแป้งมันสำปะหลังที่จำหน่ายทางการค้ามีปริมาณอะไมโลส 19.54 กรัม/100 กรัม (Ketthongkam, 2023)

แป้งเท้ายายม่อมสกัดมาจากหัวมันเท้ายายม่อมซึ่งมีความชื้นร้อยละ 65.79 ไขมันร้อยละ 0.63 โปรตีนร้อยละ 4.23 เส้นใยร้อยละ 6.59 เถ้าร้อยละ 7.13 และคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ร้อยละ 17.34 ในส่วนของแป้งเท้ายายม่อมมีโปรตีนร้อยละ 0.81 ไขมันร้อยละ

*Corresponding author

E-mail address: wipa.pra@uru.ac.th (W. Prapinaksorn)

Online print: 12 December 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.2024.55>

0.55 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 82.39 ใยร้อยละ 0.61 เส้นใยร้อยละ 2.79 ความชื้นร้อยละ 12.85 และมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18.69 (Sangyojarn et al., 2022) แป้งทำยาย่อมที่จำหน่ายทางการค้ามีปริมาณอะไมโลส 19.24/100 กรัม (Ketthongkam, 2023) จากข้อมูลการศึกษาปริมาณอะไมโลสของแป้งทำยาย่อมพบว่ามีความอยู่ระหว่างร้อยละ 16-27 (Malki et al., 2023) ซึ่งในการจัดกลุ่มแป้งตามปริมาณอะไมโลสแบ่งออกเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ร้อยละ 12-20) แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง (ร้อยละ 20-24) และแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (มากกว่าร้อยละ 24) ความหนืดของแป้งทำยาย่อมมีลักษณะคล้ายกับแป้งมันสำปะหลังและมีความคงตัวของเจลดีกว่าแป้งมันสำปะหลัง อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งทำยาย่อมเท่ากับ 68 องศาเซลเซียส โดยเจลแป้งทำยาย่อมและเจลแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายกันแต่เจลแป้งทำยาย่อมมีค่า Young's modulus ที่ 3.94 kPa ในช่วงค่าความเครียดน้อยกว่า 0.20 และมีความสามารถในการคืนตัวสู่สภาพเดิมร้อยละ 67.36 (Rittiruengdej, 2003) นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมกับแป้งชนิดอื่น ๆ เพื่อให้อาหารมีสภาพความคงตัวที่ดีและมีความมันวาว

ใยอาหาร (dietary fibre) เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนและเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ของพืช แบ่งออกเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fibre) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fibre) (Jiménez-Escrig & Sánchez-Muniz, 2000) โดยรวมของใยอาหารทั้งสองชนิดเรียกว่าใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารเป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงานแต่มีประโยชน์ต่อสุขภาพจัดเป็นอาหารเชิงฟังก์ชัน (functional food) ซึ่งมีบทบาทเป็นสารพรีไบโอติก (prebiotic) ซึ่งเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียกลุ่มพรีไบโอติก (probiotic) ในลำไส้ใหญ่ เช่น *Lactobacillus* ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ ลดไขมันในเลือด ลดน้ำตาลในเลือดและช่วยควบคุมน้ำหนัก ในแต่ละวันควรบริโภคใยอาหารประมาณ 25-30 กรัม โดยทั่วไปผลไม้มีใยอาหารสูงและมีคุณภาพดีกว่าใยอาหารจากธัญพืช ใยอาหารจากผลไม้มีสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในปริมาณสูง ใยอาหารทั้งหมดที่พบในกล้วยน้ำว้า ร้อยละ 3.16 พบในสับปะรด ร้อยละ 1.26 และในฝรั่ง ร้อยละ 3.84 (Chantachoti, 2009) ซึ่งสามารถนำไปแทนแทนในผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มเบเกอรี่ได้สูงถึงร้อยละ 40

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรการผลิตเม็ดขนมปังโดยใช้แป้งทำยาย่อมทดแทนการใช้แป้งมันสำปะหลังรวมถึงการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเม็ดขนมปังผสมผลไม้ ซึ่งเป็นการนำจุดเด่นของแป้งทำยาย่อมมาปรับปรุงในด้านเนื้อสัมผัสและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการนำผลไม้ที่มีใยอาหารสูงมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณค่าทางอาหารเพื่อสร้างทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาต่อยอดสู่การผลิตเชิงพาณิชย์และเพิ่มมูลค่าสินค้าการเกษตรอย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมปังผลไม้ประกอบด้วย แป้งมันสำปะหลัง (ตราปลามังกร) แป้งทำยาย่อม (ตราปลามังกร) น้ำตาลทรายแดง (ตรามิตรผล) สับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อนและฝรั่งพันธุ์กิมจู ซึ่งมาจากตลาดในอำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

2. การเตรียมผลไม้

ผลไม้ที่นำมาใช้ในการศึกษาประกอบด้วยสับปะรด กล้วยน้ำว้าและฝรั่ง นำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดมาล้างทำความสะอาดทำการปอกเปลือก (สับปะรดและกล้วยน้ำว้า) หั่นเป็นชิ้นและนำไปปดให้ละเอียด โดยทำการแยกชนิดประเภทของผลไม้ นำไปบรรจุใส่ถุงพลาสติกสุญญากาศ เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3. วิธีการผลิตเม็ดขนมปัง

นำส่วนผสมของน้ำและแป้งมาผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และทำการกวนผสมจนเนื้อแป้งเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใช้ที่กดเม็ดขนมปังในการปั้นแป้งให้เป็นก้อนกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 เซนติเมตร นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที ทำการปิดฝาหม้อและทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จากนั้นนำไปกรองเม็ดขนมปังและนำไปแช่ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดขนมปังจับตัวเป็นก้อนก่อนการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพต่อไป

4. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งทำยาย่อมต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเม็ดขนมปัง

การศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งทำยาย่อมโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ทำการแปรอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งทำยาย่อม 5 ระดับ คือ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 โดยน้ำหนัก ทำการผลิตตามวิธีการผลิตเม็ดขนมปัง (ข้อ 3) และบรรจุใส่ถุงสุญญากาศ นำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

5. การศึกษาปริมาณผลไม้ที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดขนมปัง

การศึกษปริมาณผลไม้ที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดขนมปังวางแผนการทดลองแบบผสม (mixture design) กำหนดปัจจัยการทำการศึกษาแบบไม่กำหนดช่วง (simplex centroid design) ตามวิธีการของ Montgomery (2013) ช่วงการกำหนดปัจจัยการผลิตขนมปังจากผลไม้โดยการนำผลไม้ ได้แก่ สับปะรด (X_1) ร้อยละ 0-100 กล้วยน้ำว้า (X_2) ร้อยละ 0-100 และฝรั่ง (X_3) ร้อยละ 0-100 โดยที่ $X_1 + X_2 + X_3$ เท่ากับ 100 และคิดเป็นร้อยละ 10 ของสูตรที่เติมลงในส่วนผสมของเม็ดขนมปัง สิ่งทดลองที่ได้จากการออกแบบด้วย

โปรแกรม Design Expert 7.0 Software trail version (StatEase, Inc. Minne-apolis, MN, USA) จำนวน 8 สิ่งทดลองแสดงดัง Table 1 นำผลไม้ผสมที่เตรียมไว้มาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง แป้งเท้ายายม่อม และน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำการ

กวนผสมจนเนื้อแป้งเป็นเนื้อเดียวกันพร้อมทั้งขึ้นรูปและผลิตเม็ดไข่มุกตามวิธีการ (ข้อ 3) ทำการบรรจุใส่ถุงสุญญากาศ นำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

Table 1 Experimental of fruit tapioca pearl by using constrained simplex lattice mixture design

Treatment	Pineapple (%)	Banana (%)	Guava (%)
1	100.00	0.00	0.00
2	0.00	100.00	0.00
3	50.00	50.00	0.00
4	0.00	0.00	100.00
5	100.00	0.00	0.00
6	50.00	0.00	50.00
7	33.33	33.33	33.33
8	0.00	50.00	50.00

6. การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ไข่มุกผลไม้

6.1 คุณภาพทางกายภาพ

ผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกนำมาวิเคราะห์ค่าสี $L^* a^* b^*$ โดยเครื่องวัดค่าสี Hunter Lab ยี่ห้อ Colour flex รุ่น miniscan Xp plus และวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส Texture profile analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture analyzer ใช้หัววัดอะลูมิเนียมรูปทรงกระบอก (Cylindrical probe, P/35) เส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus ประเทศอังกฤษ ตั้งค่าดังนี้ Pre-test speed 1 mm/sec ค่า Test speed 5 mm/sec ค่า Post-test speed 5 mm/sec ค่า Strain ร้อยละ 50 ค่า Time 5 sec และค่า Trigger force 5 g รายงานผลค่าความแข็ง (hardness) และค่าความยืดหยุ่น (springiness) โดยใช้ตัวอย่างไข่มุกผลไม้จำนวน 15 เม็ด ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 ซ้ำ

6.2 คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่มุกผลไม้ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เถ้า ปริมาณความชื้น เส้นใย และค่าพลังงานทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีตาม AOAC (2000)

6.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

การตรวจปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ปริมาณยีสต์และรา และ *Escherichia coli* โดยใช้แผ่นตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สำเร็จรูป 3M Petrifilm

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้วย Duncan’s new multiple range test (DMRT) และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณในรูปของพื้นที่ตอบสนองด้วยโปรแกรม Design Expert 7.0 Software trail version (StatEase, Inc. Minne-apolis, MN, USA) เพื่อหาความสัมพันธ์

สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression) เพื่อทดสอบความเหมาะสม (lack of fit) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determinate; R^2) ของสมการที่ตอบสนองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของตัวแปรตอบสนองที่ใช้เป็นค่าสหสัมพันธ์ในการเลือกค่าตอบสนอง (Y)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การศึกษาอัตราส่วนของแป้งเท้ายายม่อมที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแป้งเท้ายายม่อมในผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกมีผลต่อค่าความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งและความยืดหยุ่นมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนแป้งเท้ายายม่อมสูงขึ้น (Table 2) การทดแทนอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งเท้ายายม่อมที่ระดับ 80:15 (โดยน้ำหนัก) มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 22.22 g และค่าความยืดหยุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 64.85 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดเจลแป้งเท้ายายม่อมและเจลแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายกัน โดยที่เจลของแป้งเท้ายายม่อมมีค่า young’s modulus ที่ช่วงค่าความเครียดน้อยกว่า 0.20 เท่ากับ 3.94 kPa และมีระดับความสามารถในการคืนตัวสู่สภาพเดิมร้อยละ 67.36 (Rittiruengdej, 2003) ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมมีค่าเบรกดาวน์ (breakdown) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าความคงตัวของแป้งเท้ายายม่อมมีค่าสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังหลังผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าร้อยละความหย่อนโค้งเท่ากับร้อยละ 25.11 และ 55.94 (Sangyojam et al., 2022) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) ของแป้งเท้ายายม่อมอยู่ที่ระหว่าง 73-74 องศาเซลเซียส ค่าความหนืด

สูงจะสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และในการพิจารณาค่า การคืนตัว (setback viscosity) พบว่าค่าการคืนตัวมากหรือน้อยมีผล ต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ซึ่งทำให้เจลแข็งมีค่า ความแข็งมากขึ้น ซึ่งแข็งทำย่ายม่อมมีคุณสมบัติเด่น ได้แก่ การเกิด เจล (least gelation concentration) ต่ำ ซึ่งแสดงถึงความสามารถ ในการเกิดเจลที่ดี และมีค่าความหนืดสูงถึง 7660 cP ซึ่งส่งผลทำให้ ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดี มีความคงตัว มีความสามารถในการพองตัว สูงและเกิดการละลายที่ต่ำที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส (Malki et al., 2023) ในขณะที่คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังมีความสามารถในการ ดูดซับความชื้นได้สูง มีคุณสมบัติการเกิดเจลสูง มีความหนืดต่ำ ความสามารถในการพองตัวและการละลายต่ำ ซึ่งจะเกิดการคืนตัวและ เสื่อมสภาพเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน ทำให้เม็ดไข่มุกแข็งกระด้าง ความยืดหยุ่นลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้ในที่เย็น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เม็ด

ไข่มุกที่ต้มสุกพร้อมใช้เกิดการเปลี่ยนสภาพเมื่อเก็บทิ้งไว้นานข้ามวัน และเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเมื่อถูกนำมาแช่อยู่ในน้ำแข็งหรือ ตู้เย็น เพราะความเย็นจะเร่งกระบวนการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกแข็งขึ้น ความ ยืดหยุ่นลดลง เม็ดไข่มุกแข็งกระด้างและเป็นไตเนื้อแน่นร่วน ในการ เพิ่มปริมาณแป้งทำย่ายม่อมในสูตรของเม็ดไข่มุกในปริมาณที่ เหมาะสมสามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่ดีของเม็ดไข่มุก การวิจัยนี้ สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ ที่แสดงให้เห็นว่าแป้งทำย่ายม่อมและ แป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยเฉพาะในด้านความแข็ง และความยืดหยุ่น การปรับสูตรแป้งในผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกสามารถใช้ ประโยชน์จากคุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดเพื่อพัฒนาคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น (Sangyojarn et al., 2022)

Table 2 Hardness and Springiness of tapioca pearl product from varies of tapioca starch and arrowroot starch

Tapioca : Arrowroot (%)	Hardness (g)	Springiness (%)
100:0	11.43 ^c ±3.31	56.78 ^{ab} ±5.18
95:50	14.00 ^{bc} ±1.05	49.56 ^b ±6.15
90:10	16.43 ^{bc} ±2.52	59.79 ^{ab} ±2.48
85:15	22.22 ^a ±6.40	64.85 ^a ±11.80
80:20	19.85 ^{ab} ±2.04	53.53 ^{ab} ±7.91

Values are mean ± SD of replicate sample (n=5).

^{a b c} Different superscript letters in the same column indicate significant difference (p<0.05).

ผลการศึกษาอัตราส่วนของแป้งทำย่ายม่อมในผลิตภัณฑ์เม็ด ไข่มุกแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแป้งทำย่ายม่อมมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับการใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว โดยค่า สี L* a* และ b* มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแป้งทำย่ายม่อมที่ เพิ่มขึ้น การใช้แป้งมันสำปะหลังกับแป้งทำย่ายม่อมที่ระดับ 80:15 (โดยน้ำหนัก) มีผลทำให้ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 24.62 4.08 และ 9.82 ตามลำดับ (Table 3) ซึ่งลักษณะการเกิดเจลใสของแป้งมัน

สำปะหลังและแป้งทำย่ายม่อมในขณะได้รับความร้อนมีความขุ่นหนืด และความใสไม่แตกต่างกัน แต่ลักษณะความใสของแป้งมีความสัมพันธ์ กับการคืนตัวของแป้งและปริมาณอะไมโลส เมื่อเกิดการจัดเรียงตัวที่ แน่นหนาจะทำให้แสงผ่านได้น้อยส่งผลให้เจลมีลักษณะทึบแสงและ เหนียวนุ่ม ลักษณะของน้ำแป้งสุกของแป้งทำย่ายม่อมหลังจากเย็นลง มีความเหนียวใสมากกว่าแป้งมันสำปะหลังที่มีสีขาวขุ่น (Rittiruengdej, 2003)

Table 3 L* a* b* value of tapioca pearl product from varies of tapioca starch and arrowroot starch

Tapioca: Arrowroot (%)	L*	a*	b*
100:0	23.24 ^c ±0.18	3.36 ^b ±0.08	7.46 ^d ±0.19
95:50	23.00 ^d ±0.11	3.80 ^b ±0.08	8.93 ^c ±0.26
90:10	24.40 ^b ±0.11	3.90 ^b ±0.17	7.63 ^d ±0.09
85:15	24.62 ^a ±0.12	4.08 ^a ±0.04	9.82 ^a ±0.16
80:20	22.84 ^d ±0.13	3.53 ^b ±0.19	9.38 ^b ±0.25

Values are mean ± SD of replicate sample (n=5).

^{a b c} Different superscript letters in the same column indicate significant difference (p<0.05).

2. การศึกษาปริมาณผลไม้ที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดไข่มุก

จากแผนการทดลองแบบผสม (mixture design) แบบไม่กำหนดช่วง (simplex centroid design) กำหนดปัจจัยการผลิตไข่มุกจากผลไม้โดยการนำผลไม้ ได้แก่ สับปะรด (X_1) ร้อยละ 0-100 กล้วยน้ำว่า (X_2) ร้อยละ 0-100 และฝรั่ง (X_3) ร้อยละ 0-100 โดยที่ $X_1+X_2+X_3$ เท่ากับ 100 คิดเป็นร้อยละ 10 ของสูตรที่เติมลงใน ส่วนผสมของเม็ดไข่มุก ผลการศึกษาพบว่าเม็ดไข่มุกผลไม้

มีค่าความแข็ง ระหว่าง 37.87-377.17 g ค่าความยืดหยุ่น ระหว่าง 7.46-10.95 ค่าสี L^* ระหว่าง 20.46-24.70 ค่าสี a^* ระหว่าง 0.91-1.93 และค่าสี b^* ระหว่าง 5.06-8.71 ในการเพิ่มปริมาณของ สับปะรดและกล้วยน้ำว่า ส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเม็ดไข่มุกมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ฝรั่งเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเม็ดไข่มุกมีค่าลดลง (Table 4)

Table 4 Mixture design and response variables of fruit-based tapioca pearl product

Run	Pineapple (X_1)	Banana (X_2)	Guava (X_3)	Hardness (g) (Y_1)	Springiness (%) (Y_2)	L^* (Y_3)	a^* (Y_4)	b^* (Y_5)
1	100.00	0.00	0.00	377.17±14.80	9.66±0.84	23.25±0.18	1.93±0.08	8.71±0.33
2	0.00	100.00	0.00	341.23±14.25	8.93±0.95	24.31±0.18	0.96±0.14	8.19±0.12
3	50.00	50.00	0.00	294.55±13.21	8.96±1.59	20.54±0.11	1.01±0.36	5.98±0.47
4	0.00	0.00	100.00	37.87±13.16	7.46±1.65	24.70±0.15	1.05±0.18	7.28±0.79
5	100.00	0.00	0.00	377.17±5.87	9.66±0.10	23.25±0.11	1.93±0.32	8.71±0.36
6	50.00	0.00	50.00	331.16±1.89	9.08±0.67	22.31±0.08	1.38±0.24	5.94±0.27
7	33.33	33.33	33.33	38.28±13.75	10.95±2.97	21.90±0.14	1.12±0.29	5.06±0.70
8	0.00	50.00	50.00	41.21±14.47	8.42±0.78	20.46±0.11	0.91±0.32	5.46±0.29

ผลการศึกษาพบว่า การใช้วิธี Response surface methodology (RSM) และสมการเชิงเส้น (linear model) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา (X_1-X_3) และค่าการตอบสนอง (Y_1-Y_5) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ซึ่งเป็นค่าที่บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจของค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 0.9859 0.9991 0.9980 0.7226 และ 0.9813 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่เข้าใกล้ 1.0 แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำนายค่าได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ค่า Model significance มีค่าน้อยกว่า 0.05 ($p < 0.05$) แสดงถึงอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* และ b^* ของเม็ดไข่มุกจากผลไม้ โดยมีอิทธิพลร่วมระหว่างสับปะรด (X_1) กับกล้วยน้ำว่า (X_2) อิทธิพลร่วมระหว่างสับปะรด (X_1) กับฝรั่ง (X_3) และอิทธิพลร่วมระหว่างกล้วยน้ำว่า (X_2) กับฝรั่ง (X_3) โดยไข่มุกผสมผลไม้ไม่มีค่า Model significance ของค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* และ b^* เท่ากับ 0.0348 0.023 0.0050 และ 0.0461 ตามลำดับ สมการที่ได้มีค่าความแม่นยำเพียงพอต่อการพยากรณ์คุณภาพทางกายภาพของไข่มุกผสมผลไม้ ในขณะที่ค่าสี a^* พบว่ารูปแบบจำลองที่เหมาะสมคือแบบจำลองเชิงเส้น (linear model) มีค่า Model significance เท่ากับ 0.0405 ซึ่งค่าความใกล้เคียงระหว่างผลจากการทดลองกับแบบจำลองถดถอยด้วยการประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์ของการ

ตัดสินใจ (R^2) ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยหากค่าจากการคำนวณด้วยสมการถดถอยมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากการทดลองทุกจุด R^2 จะมีค่าเท่ากับ 1 และ ค่าความถูกต้องของค่า R^2 (adjusted coefficient of determination; Adj- R^2) ในกรณีที่มีจำนวนปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัย พบว่าค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* a^* และ b^* มีค่า Adj- R^2 เท่ากับ 0.9508 0.9968 0.9930 0.6116 และ 0.9345 ตามลำดับ (Table 5)

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของ RSM และสมการเชิงเส้นในการอธิบายและทำนายค่าการตอบสนองที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพทางกายภาพของไข่มุกผสมผลไม้ โดยค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น และค่าสี L^* และ b^* มีค่า R^2 สูง ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการทำนายได้ดี ส่วนค่าสี a^* มีค่า R^2 ที่ต่ำกว่าปัจจัยอื่น ๆ อาจเป็นเพราะอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา (X_1-X_3) มีผลต่อค่าสี a^* น้อยกว่าปัจจัยอื่น ๆ การใช้ RSM และสมการเชิงเส้นในการทำนายค่าคุณภาพทางกายภาพของไข่มุกผสมผลไม้ได้รับการยืนยันจากค่า Model Significance ที่น้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองและค่า lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงว่าสมการมีความเหมาะสมในการใช้ทำนายผลการวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่าค่าสี a^* มีค่า Model Significance ที่ต่ำกว่า 0.05 เช่นเดียวกับปัจจัยอื่น ๆ แต่มีค่า R^2 และ Adj- R^2 ที่ต่ำกว่าปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งอาจแสดงถึงความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาและค่าสี a^* ที่ต้องการการศึกษาเพิ่มเติม

Table 5 Regression model of fruit-based tapioca product

Regress coefficient	Hardness (g) (Y ₁)	Springiness (%) (Y ₂)	L* value (Y ₃)	a* value (Y ₄)	b* value (Y ₅)
β_1 – Pineapple (%)	373.34	9.56	23.76	2.23	8.36
β_2 – Banana (%)	345.75	8.64	5.58	0.71	8.19
β_3 – Guava (%)	42.39	9.19	24.72	0.93	7.28
β_{11}					
β_{22}					
β_{33}					
β_{12}	-1311.35	215.32	23.23		-9.19
β_{13}	420.93	156.18	-7.97		-7.53
β_{23}	-683.68	-3.94	21.00		-9.12
Model significance	0.0348	0.0023	0.0050	0.0405	0.0461
Lack of fit	0.1048	0.2134	0.8365	0.8986	0.9829
R-Squared (R ²)	0.9859	0.9991	0.9980	0.7226	0.9813
Adj R- Squared	0.9508	0.9968	0.9930	0.6116	0.9345

ในการทดสอบความเหมาะสม (lack of fit) พบว่าค่าการตอบสนอง (Y₁-Y₅) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L* a* และ b* ของเม็ดไข่มุกผสมผลไม้ มีค่าเท่ากับ 0.1048 0.2134 0.8365 0.8986 และ 0.9829 ตามลำดับ ซึ่งค่า ANOVA เป็นเกณฑ์สำหรับการวัดความเหมาะสมของแบบจำลอง หากค่าการทดสอบความเหมาะสม (lack of fit) มีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แสดงว่าแบบจำลองนั้นไม่เหมาะสมเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการเลือกใช้ตัวแปรไม่เหมาะสม (Kutner et al., 2004; Derringer & Suich, 1980) ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลเบื้องต้นพบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งแสดง

ให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลที่ดำเนินการทดลอง การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติซึ่งเป็นการตรวจสอบกราฟการกระจายส่วนตกค้างของข้อมูลค่าความแข็ง (Figure 1 (a)) โดยพบว่าจุดบนกราฟที่เรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรงและมีการกระจายตัวบริเวณใกล้ ๆ ค่าศูนย์ (Figure 1 (b)) แสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นกราฟค่าส่วนตกค้างต่อค่าที่ถูกทำนายของค่าความแข็งของเม็ดไข่มุกมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งค่าทางบวกและค่าทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระโดยค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงปกติ ค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน เพื่อนำไปสู่การใช้แบบจำลองให้มีความถูกต้อง (Mahe et al., 2015)

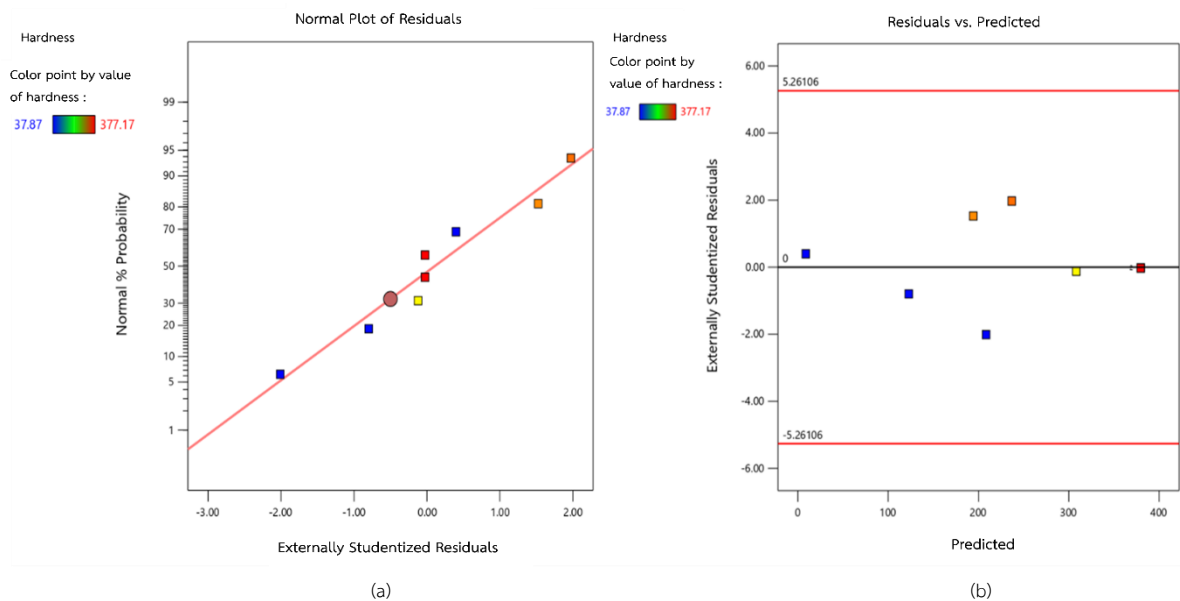


Figure 1 Normal probability of the externally studentized residuals (a) and distribution of the externally studentized residuals at each level of the factor (b) of the hardness value from the development of fruit-based tapioca pearl product.

ผลจากการนำสมการพหุคูณของค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L* และ b* จาก Table 5 มาสร้างกราฟคอนทัวร์ (contour plot) และนำกราฟมาซ้อนทับกันเพื่อหาพื้นที่ในการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมต่อการพัฒนาสูตรเม็ดไข่มุกผสมผลไม้พบว่า

พื้นที่ที่มีความเหมาะสมของปริมาณผลไม้ทั้ง 3 ชนิด คือ สับปะรดกล้วยน้ำว้าและฝรั่งที่ใช้ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ไข่มุกผลไม้ ได้แก่ การใช้สับปะรดร้อยละ 19.50 กล้วยน้ำว้าร้อยละ 29.57 และฝรั่งร้อยละ 50.93 (Figure 2 (f))

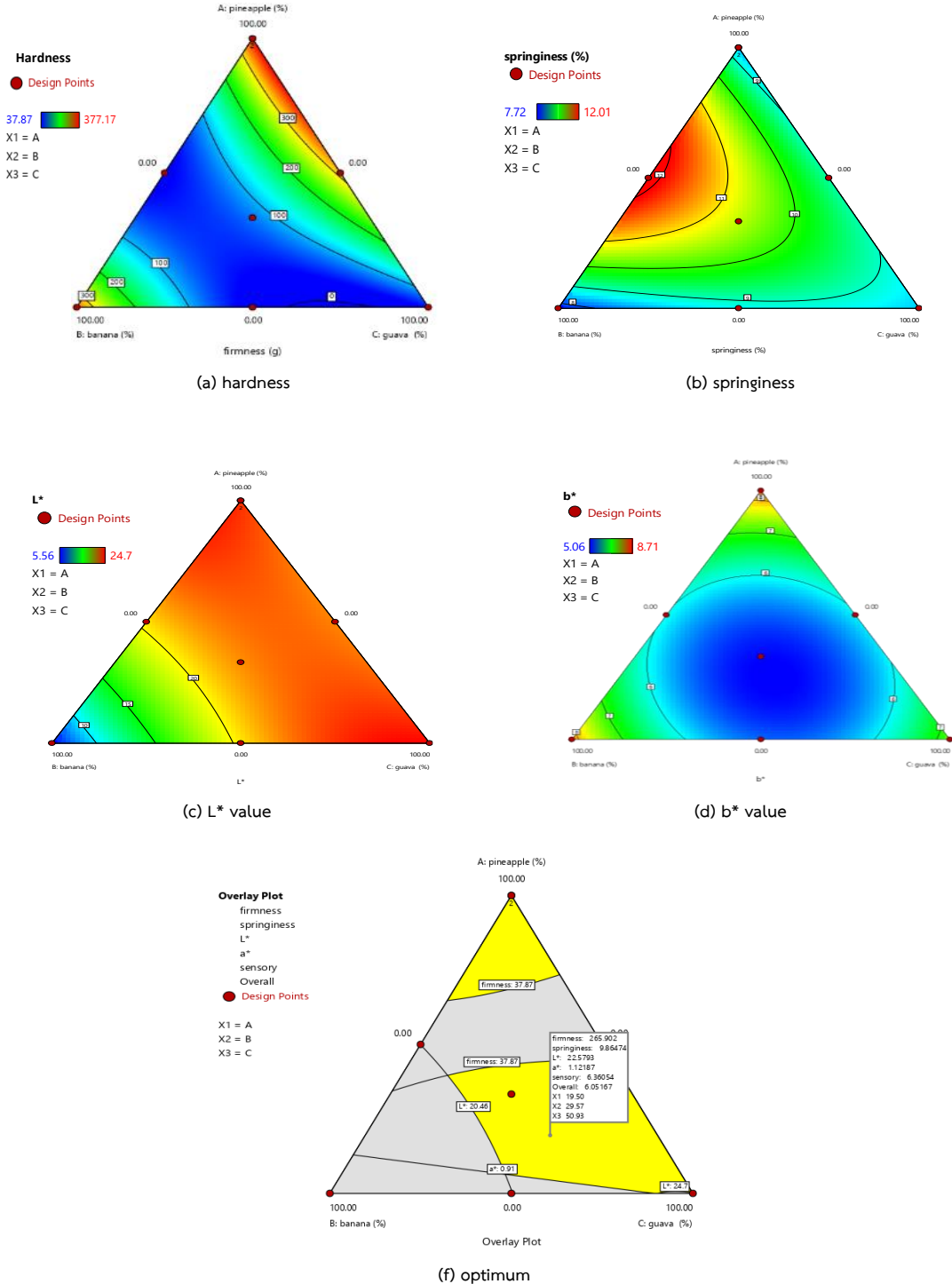


Figure 2 Contour plot of (a) hardness; (b) springiness; (c) L* value; (d) b* value; and (e) optimum overlapping of fruit boba from fruit product (A: pineapple, B: banana, C: guava).

Table 6 Nutritional value of fruit-based tapioca pear compare with tapioca pear (100 g)

Nutrition	fruit-based tapioca pear	tapioca pear*
Protein (%)	3.27±1.28	0.19
Fat (%)	1.11±0.08	0.02
Crude fiber (%)	3.60±0.21	0.90
Carbohydrate (%)	30.99±1.83	88.69
Total energy (Kcal/100g)	149.76±1.11	358

* Source: USDA (2019).

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของไข่มุกผสมผลไม้พบว่า มีโปรตีนร้อยละ 3.27 ไขมันร้อยละ 1.11 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.99 เส้นใยร้อยละ 0.15 ปริมาณความชื้นร้อยละ 64.48 ปริมาณกากใยร้อยละ 3.60 และพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 147.03 กิโลแคลอรีตามลำดับ เมื่อนำมาเทียบกับ USDA (2019) พบว่าคุณค่าโภชนาการของเม็ดไข่มุก 100 กรัม ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 88.70 กรัม โปรตีน 0.19 กรัม ไขมัน 0.02 กรัม เส้นใย 0.90 กรัม และพลังงานทั้งหมด 358 กิโลแคลอรี (Table 6) คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกผสมผลไม้พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 10^3 CFU/g ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบ *E.coli* ในผลิตภัณฑ์

สรุปผลการวิจัย

การทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งเท้ายายม่อมในผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกมีผลทำให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้แป้งมันสำปะหลังกับแป้งเท้ายายม่อมที่ระดับ 80:15 (โดยน้ำหนัก) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในด้านของค่าความแข็งและความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังพบว่าเจลที่เกิดจากแป้งเท้ายายม่อมมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับแป้งมันสำปะหลัง แต่มีความคงตัวเจลสูงกว่าเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งและความคงตัวสูง การใช้สมการมาสร้างพื้นที่ผิวตอบสนองทำให้ทราบว่า การเพิ่มปริมาณของสับปะรดและกล้วยน้ำว้า ส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเม็ดไข่มุกมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ฝรั่งเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเม็ดไข่มุกมีค่าลดลง ซึ่งสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเม็ดไข่มุกจากผลไม้ด้วยวิธีพื้นที่ตอบสนองโดยให้ค่าเนื้อสัมผัสและความยืดหยุ่นมากที่สุด คือ การผลิตโดยใช้สับปะรดร้อยละ 19.50 กล้วยน้ำว้าร้อยละ 29.57 และฝรั่งร้อยละ 50.93 มีค่าความแข็งเท่ากับ 265.90 g และค่าความยืดหยุ่นเท่ากับร้อยละ 9.86 คุณค่าทางโภชนาการของเม็ดไข่มุกผลไม้ 100 กรัม พบว่ามีพลังงานทั้งหมด 149.76 กิโลแคลอรี โปรตีนร้อยละ 3.27 ไขมันร้อยละ 1.11 เส้นใยร้อยละ 3.60 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.99 คุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10^3 CFU/g ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบ *E.coli* ในผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่สนับสนุนงบประมาณและห้องปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีการอาหาร ที่เอื้ออำนวยต่อการดำเนินงานวิจัยเพื่อเพิ่มขีดศักยภาพให้กับนักวิจัยต้องงานด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

References

- Association of Official Analytical Chemists AOAC. (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). Maryland, United States: Association Official Analytical Chemists.
- Chantachoti, T. (2009). *Dietary fiber of selected Thai fruits: chemical compositions, and associated antioxidant capacity. Thailand Science Research and Innovation*. Accessed October 23, 2024. Retrieved from https://elibrary.tsri.or.th/project_content.asp?PJID=RDG5120067 (in Thai)
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214-219. doi: 10.1080/00224065.1980.11980968
- Jiménez-Escrig, A., & Sánchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Research*, 20(4), 585-598. doi: 10.1016/S0271-5317(00)00149-4
- Ketthongkam, P. (2023). The adhesion of starch to water chestnut in Tup Tim Grob (coated water chestnut pieces in coconut milk). *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 8(6), 95-110. (in Thai)
- Kutner, M., Nachtsheim, C., Neter, J., & Li, W. (2004). *Applied linear statistical models* (5th ed.). New York, United States: McGraw-Hill/Irwin.
- Mahe, N., Awapak, D., & Pichairat, D. (2015). Optimization of high protein content protein hydrolysate extraction from hard clam (*Meretrix casta*) using response

- surface methodology. *KKU Science Journal*, 43(3), 425–438. (in Thai)
- Malki, M. S. K., Wijesinghe, J. A. A. C., Ratnayake, R. H. M. K., & Thilakarathna, G. C. (2023). Characterization of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch as a potential starch source for the food industry. *Helion*, 9(9), e20033. doi: 10.1016/j.helion.2023.e20033
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). New Jersey: United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Rattanajarusroj, T., & Srijesdaruk, V. (2015). *Effect of processing conditions on resistance starch content from tapioca starch*. Accessed October 23, 2024. Retrieved from <https://rsucon.rsu.ac.th/files/proceedings/nation2015/G2-20.pdf>
- Rittiruengdej, P. (2003). *Physical and chemical properties of arrowroot flour and its use in layer snacks* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Sangyojarn, P., Sangketkit, C., Kiatsakared, P., Namasthisong, T., Sarthiyakul, N., & Sanuksan, J. (2022). *Physio-chemical properties of Tao Yai Mom flour and sensory properties of product*. Accessed October 23, 2024. Retrieved from <https://ird.rmuti.ac.th/2015/files/2562/File/>
- United States Department of Agriculture (USDA). (2019). *Tapioca, pearl, dry*. *Food data central*. Accessed December 1, 2024. Retrieved from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169717/nutrients>

Research article

Development of fruit tapioca pearl using response surface methodology

Nantha Pengnet and Wipa Prapinaksorn*

Food Technology, Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University, Mueang District, Uttaradit Province, Thailand 53000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 25 September 2024

Revised: 18 October 2024

Accepted: 20 November 2024

Online published: 12 December 2024

Keyword*Mixture design**Tapioca pearl**Arrowroot starch**Response surface methodology**Dietary fiber*

ABSTRACT

This research aimed to develop a fruit-based tapioca pearl product by varying the amount of arrowroot starch instead of using tapioca starch in the quantity range of 0-20 %. The factors studied included pineapple (0-100 %), banana (0-100 %), and guava (0-100 %), accounting for 10 % of the formula added to the tapioca pearls mixture, and the finished product quality was studied. The results showed that the variation of tapioca starch and arrowroot starch had a statistically significant ($p \leq 0.05$) effect on the hardness and springiness characteristics of the tapioca pearls product. The use of arrowroot starch (15 %) instead of tapioca starch in the formula resulted in the highest hardness, springiness, L^* value, a^* value, and b^* value, being 22.22 g, 64.85 %, 23.0, 2.08, and 7.63, respectively. The response surface methodology showed that the coefficient of determination (R^2) of the hardness, springiness, L^* value, a^* value, and b^* value were 0.9859, 0.9991, 0.9980, 0.7226, and 0.9749, respectively. The most suitable formula for developing fruit-based tapioca pearls was 19.50 % pineapple, 29.57 % banana, and 50.93 % guava. The nutritional value of 100 grams of the fruit-based tapioca pearl product showed a total energy of 149.76 kcal, 3.27 % protein, 1.11 % fat, 3.60 % fiber, and 30.99 % carbohydrates. The microbial qualities found that the total plate count and the yeast and mold were less than 10^3 CFU/g, and 10 CFU/g, respectively. However, *the E. coli* was not detected in the product.

*Corresponding author

E-mail address: wipa.pra@uru.ac.th (W. Prapinaksorn)

Online print: 12 December 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.2024.55>