บทความวิจัย

การพัฒนาและประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรีย์เพื่อการพาณิชย์

Development and Quality Evaluation of Prototype Products from Organic Pigmented Rice for Commercial Applications

นงคราญ มหาวัง[1]*

Nongkran Mahawang [1]*

[1] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านกัญชาและเกษตรอินทรีย์นานาชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[1] Excellence Center of Cannabis and International Organic Agriculture Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300

*Corresponding Author: nongkran_mah@cmru.ac.th

Received 27 กรกฎาคม 2569; Revised 25 สิงหาคม 2569; Accepted 31 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรีย์สำหรับการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ ได้แก่ โจ๊กข้าวสีอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป เครื่องดื่มผงชงจากข้าวสีอินทรีย์ และเซรั่มบำรุงผมจากสารสกัดข้าวสีอินทรีย์ โดยศึกษาข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวหอมเวสสันตะระ ข้าวเจ้าหอมดำสูตะบุตร ข้าวทับทิมชุมแพ และข้าวสังข์หยด สำหรับผลิตภัณฑ์โจ๊กกำหนดวัตถุดิบรองในสัดส่วนเดียวกันทุกสูตร โดยแปรผันเฉพาะสายพันธุ์ข้าว และประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี คุณสมบัติทางชีวภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนข้าวสีต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโจ๊กเท่ากับ 1:11 และสภาวะการทำแห้งด้วยลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 130–140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที ผลิตภัณฑ์โจ๊กมีค่าความสว่าง (L*) 48.27–53.46 ค่าความหนืด 412.58–542.54 cP ค่า pH 7.26–7.65 ความชื้นร้อยละ 3.12–3.41 และค่า aw 0.36–0.38 ด้านคุณสมบัติทางชีวภาพ พบว่าโจ๊กจากข้าวเจ้าหอมดำสูตะบุตรมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงที่สุดเท่ากับ 104.32 ± 0.70 ขณะที่โจ๊กจากข้าวหอมเวสสันตะระมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด เท่ากับ 37.51 ± 0.45 mg CGE/100 กรัม และ 120.32 ± 1.10 mg GAE/g dw ตามลำดับ การประเมินทางประสาทสัมผัสด้วย 9-point Hedonic Scale จากผู้บริโภค 50 คน พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.40–6.36 คะแนน โดยโจ๊กจากข้าวเจ้าหอมดำสูตะบุตรได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด 6.36 คะแนน รองลงมาคือข้าวทับทิมชุมแพ (6.05) ข้าวสังข์หยด (6.00) และข้าวหอมเวสสันตะระ (5.40) สำหรับเครื่องดื่มผงชงจากข้าวสีอินทรีย์ สูตรอัตราส่วนข้าวสีอินทรีย์ต่อสารสกัด 85:15 ให้ปริมาณแอนโทไซยานิน 14.50 mg/L และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ร้อยละ 85.09 และการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 ให้ผลด้านการคงปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยในระดับสูง ส่วนเซรั่มบำรุงผมจากสารสกัดข้าวสีอินทรีย์มีค่า pH ประมาณ 5.00 มีความคงตัวทางกายภาพ ไม่แยกชั้น มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคร้อยละ 96 ผลการศึกษาสะท้อนถึงความเป็นไปได้ในการนำข้าวสีอินทรีย์มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีรูปแบบการใช้ประโยชน์หลากหลาย และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์และศึกษาความพร้อมสำหรับการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ต่อไป

***คำหลัก**: ข้าวสีอินทรีย์; โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป; เครื่องดื่มผงชงจากข้าวสีอินทรีย์; เซรั่มบำรุงผม; สารต้านอนุมูลอิสระ*

Abstract

This study aimed to develop and evaluate the quality of prototype products from organic pigmented rice for commercial applications, including instant organic pigmented rice porridge, an organic pigmented rice powdered beverage, and a hair serum containing organic pigmented rice extract. Four organic pigmented rice varieties, namely Hom Wessantara, Jao Hom Dam Sutabut, Tubtim Chumphae, and Sangyod, were investigated. For the instant porridge formulations, all supplementary ingredients were maintained at the same proportions, while the rice variety was varied. The developed products were evaluated for their physical, chemical, biological, and sensory acceptance properties. The results showed that the optimum rice-to-water ratio for instant porridge production was 1:11, and suitable drum-drying conditions were 130–140°C at a drum speed of 1 rpm. The instant porridge products exhibited L* values ranging from 48.27 to 53.46, viscosities of 412.58–542.54 cP, pH values of 7.26–7.65, moisture contents of 3.12–3.41%, and water activity (aw) values of 0.36–0.38. Regarding biological properties, the porridge prepared from Jao Hom Dam Sutabut rice exhibited the highest DPPH radical-scavenging activity (104.32 ± 0.70), whereas the Hom Wessantara rice porridge showed the highest total anthocyanin content (37.51 ± 0.45 mg CGE/100g) and total phenolic content (120.32 ± 1.10 mg GAE/g dw). Sensory evaluation using a 9-point hedonic scale with 50 consumers showed overall liking scores ranging from 5.40 to 6.36. Jao Hom Dam Sutabut rice porridge received the highest overall liking score of 6.36, followed by Tubtim Chumphae (6.05), Sangyod (6.00), and Hom Wessantara (5.40). For the powdered beverage, the formulation with a rice-to-extract ratio of 85:15 yielded the highest anthocyanin content (14.50 mg/L) and DPPH radical-scavenging activity (85.09%). The addition of 5% maltodextrin resulted in the highest retention of anthocyanins and antioxidant activity after spray drying. The hair serum had a pH of approximately 5.00, exhibited good physical stability without phase separation, met microbiological criteria, and achieved 96% consumer acceptance. These findings demonstrate the feasibility of utilizing organic pigmented rice to develop diverse prototype products and provide fundamental data for further product optimization and commercial application readiness.

Keywords: *Organic pigmented rice; Instant rice porridge; Rice-based powdered beverage; Hair serum; antioxidant activity*

1. บทนำ

ข้าว (Oryza sativa L.) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญทั้งด้านเศรษฐกิจและการบริโภค โดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งมีความหลากหลายของพันธุ์ข้าวและภูมิปัญญาการผลิตข้าวในแต่ละพื้นที่ นอกจากข้าวขาวที่บริโภคโดยทั่วไปแล้ว "ข้าวสี" หรือข้าวที่มีสีของเยื่อหุ้มเมล็ด เช่น สีแดง สีม่วง และสีดำ ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีองค์ประกอบทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีหลายชนิด โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และโปรแอนโทไซยานิดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ [1]

สีของข้าวมีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของรงควัตถุธรรมชาติที่สะสมบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดและชั้นรำ โดยเฉพาะแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ และมีบทบาทสำคัญต่อสีแดง ม่วง และดำของเมล็ดข้าว งานวิจัยพบว่าปริมาณและรูปแบบของแอนโทไซยานินสามารถแตกต่างกันตามพันธุกรรมและชนิดของข้าว โดยข้าวสีดำมักมีแอนโทไซยานินสูงกว่าข้าวสีแดง และสารเหล่านี้สะสมในชั้นรำมากกว่าในส่วนอื่นของเมล็ด [2]

นอกจากแอนโทไซยานินแล้ว ข้าวสียังเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ [3], [4] การทบทวนวรรณกรรมพบว่าองค์ประกอบของสารเหล่านี้มีความแตกต่างกันระหว่างชนิดและสายพันธุ์ข้าว ดังนั้นการประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการพิจารณาคุณสมบัติของข้าวสีและผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาจากข้าวสี

การนำข้าวสีไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงผลของกระบวนการแปรรูป เนื่องจากการทำแห้ง การบด และการให้ความร้อนสามารถส่งผลต่อสารพฤกษเคมีของข้าวสี งานทบทวนของ Tiozon และคณะ [1] รายงานว่ากระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีในข้าวสี การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum Drying) และการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้สำหรับผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป โดยการเลือกสภาวะที่เหมาะสมและสารช่วยห่อหุ้มจะช่วยคงสารแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5], [6], [7]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวสีเพียงประเภทเดียว และยังขาดการบูรณาการองค์ความรู้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบหลายประเภทจากวัตถุดิบเดียวกัน พร้อมทั้งประเมินคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และการยอมรับของผู้บริโภคอย่างครบถ้วน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 3 กลุ่ม ได้แก่ โจ๊กข้าวสีอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป เครื่องดื่มผงชงจากข้าวสีอินทรีย์ และเซรั่มบำรุงผมจากสารสกัดข้าวสีอินทรีย์ โดยประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามลักษณะที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรีย์ ได้แก่ โจ๊กข้าวสีอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป เครื่องดื่มผงชงจากข้าวสีอินทรีย์ และเซรั่มบำรุงผมจากสารสกัดข้าวสีอินทรีย์
2. เพื่อประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี คุณสมบัติทางชีวภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

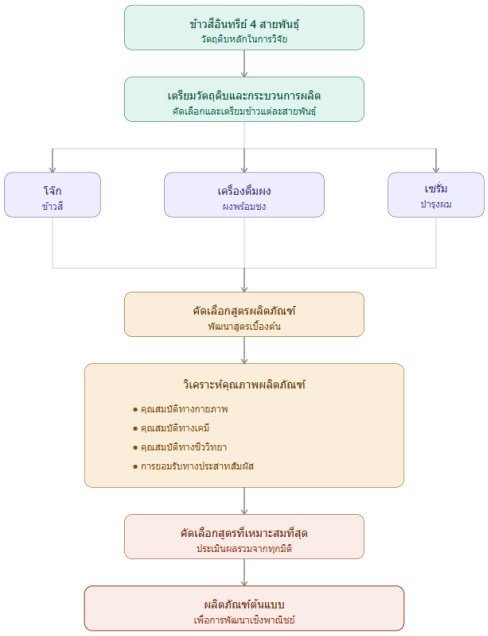
2. วิธีดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเจ้าหอมเวสสันตะระอินทรีย์ ข้าวทับทิมชุมแพอินทรีย์ ข้าวเจ้าหอมดำสูตะบุตรอินทรีย์ และข้าวสังข์หยดอินทรีย์ วัตถุดิบรองได้แก่ ขิง ต้นหอม แครอท และผักเชียงดา ได้รับจากบริษัท ทุ่งสุวรรณ ออร์แกนิคฟาร์ม จำกัด และวิสาหกิจชุมชนสันมหาพนสมุนไพรอินทรีย์ จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนซอสปรุงรสถั่วเหลืองผงออร์แกนิก (Chat Organic) ได้รับจากบริษัท เอ็น เอส ที ฟู้ด อินดัสทรี กรุ๊ป จำกัด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เครื่องกลั่นระเหยสารสุญญากาศแบบหมุน (Rotary evaporator, Buchi R-300, Switzerland) เครื่องสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave extractor, CEM MARS 6, USA) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Shimadzu UV-1800, Japan) เครื่องปั่นละเอียด (Homogenizer, IKA T25, Germany) เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner, Elmasonic S, Germany) เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter, Konica Minolta CR-400, Japan) เครื่องวัดความหนืด (Viscometer, Brookfield DV-E, USA) เครื่องวัดค่าน้ำอิสระ (Water Activity Meter, Novasina MS1, Switzerland) และเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Twin drum dryer, Biro, USA) ส่วนสารเคมีที่ใช้ได้แก่ เอทานอล เมทานอล และน้ำกลั่น (deionized water; DI water) ดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัยดังนี้



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมข้าวข้นสำหรับการผลิตโจ๊ก

การผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปใช้ข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ โดยชั่งข้าวสีสายพันธุ์ละ 1 กิโลกรัม คัดแยกสิ่งแปลกปลอม ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง แล้วต้มในน้ำ 13 ลิตร ที่อุณหภูมิ 90–100 °C เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นพักให้เย็นและปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนนำไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Twin drum dryer) ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 130–140 °C และความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที แผ่นโจ๊กที่ได้ถูกอบต่อในตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้น ก่อนบดเป็นผงและเก็บในภาชนะปิดสนิทสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพ

วัตถุดิบรอง ได้แก่ แครอท ต้นหอม ขิง และผักเชียงดา โดยแครอทหั่นเป็นลูกเต๋าขนาดประมาณ 0.5 × 0.5 × 0.5 เซนติเมตร แล้วนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 10 นาที ส่วนต้นหอม ขิง และผักเชียงดาถูกหั่นให้มีขนาดเหมาะสม จากนั้นอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบดขิงอบแห้งให้เป็นผงก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วัตถุดิบรอง ขิง ต้นหอม แครอท ผักเชียงดา

2.1.1 การพัฒนาสูตรโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

ทำการพัฒนาสูตรโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์เป็นตัวแปรหลัก และกำหนดอัตราส่วนของวัตถุดิบรองให้คงที่ในทุกสูตร ผลิตภัณฑ์แต่ละสูตรวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 4 กรรมวิธีซึ่งแตกต่างกันที่ชนิดของข้าวสีอินทรีย์ กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี ชีววิทยา และประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์

ส่วนผสม	ร้อยละ
ข้าวสี 1) ข้าวเจ้าหอมเวสสันตะระอินทรีย์ 2) ข้าวทับทิมชุมแพอินทรีย์ 3) ข้าวเจ้าหอมดำสูตะบุตรอินทรีย์ 4) ข้าวสังข์หยดอินทรีย์	83.02
ขิง	0.37
ต้นหอม	1.84
แครอท	3.69
ผักเชียงดา	1.85
ซีอิ๊วขาวผงอินทรีย์	9.23
รวม	**100.00**

2.2 การพัฒนาเครื่องดื่มผงจากข้าวสีอินทรีย์

เครื่องดื่มผงจากข้าวสีอินทรีย์พัฒนาจากข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ โดยใช้ข้าวสีอินทรีย์ น้ำตาลทราย กรดซิตริก และน้ำมะนาวเป็นส่วนประกอบหลัก ข้าวสีอินทรีย์ถูกคัดแยกสิ่งแปลกปลอม ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง และผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นคั่วที่อุณหภูมิ 70–80 °C เป็นเวลา 3 นาที ก่อนสกัด [8] ด้วยน้ำสะอาดปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 80–85 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองแยกกากออก [9] เติมน้ำเชื่อมฟรุกโตสร้อยละ 5 และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมมอลโทเด็กซ์ทริน (Maltodextrin, Roquette, France) ร้อยละ 15 ของน้ำหนักสารละลายผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer, Buchi B-290, Switzerland) โดยกำหนดอุณหภูมิขาเข้า 160 °C และอุณหภูมิขาออก 120 °C [6] วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 กรรมวิธีกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ

2.3 การพัฒนาเซรั่มบำรุงผมจากข้าวสีอินทรีย์

เซรั่มบำรุงผมชนิดไม่ล้างออก (Leave-on Hair Serum) ได้รับการพัฒนาโดยใช้สารสกัดข้าวสีอินทรีย์เป็นสารออกฤทธิ์หลัก ร่วมกับสารสกัดดอกฮอปส์ (Hops extract) OGP complex extract และ Cassia alata extract โดยสารสกัด OGP complex extract เตรียมจากสารสกัดข้าวสีอินทรีย์ที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 70 โดยวิธี maceration ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองและระเหยตัวทำละลายออกด้วย Rotary evaporator ส่วน Cassia alata extract (Srichatchawan Herb, Thailand) และHops extract (Natex, Austria) ได้รับจากบริษัทผู้ผลิต โดยมีองค์ประกอบของสูตรตำรับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรตำรับเซรั่มบำรุงผมชนิดไม่ล้างออก (Leave on Hair Serum)

ลำดับ	ส่วนประกอบ	ปริมาณ (% w/w)
1	น้ำบริสุทธิ์	81.55
2	Phenoxyethanol + Ethylhexylglycerin	1.00
3	Cassia alata extract	1.00
4	OGP complex extract	3.00
5	Hops extract	1.00
6	Organic colored rice extract	1.00
7	Fragrance	0.25
8	PEG-40 Hydrogenated Castor Oil	1.00
9	Ethanol	10.00
10	Polyquaternium-37	0.50
11	Cetrimonium Chloride	1.00
12	Menthol	0.25
13	น้ำมันมะกรูดสกัดเย็น	0.10
	รวม	**100.00**

2.4 การวิเคราะห์ทดสอบทางกายภาพ เคมีและ ชีวภาพ

2.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวสีอินทรีย์ได้รับการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ประกอบด้วย การวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter (Konica Minolta CR-400, Japan) รายงานผลในระบบ CIE ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง–สีเขียว (a*) และค่าสีเหลือง–สีน้ำเงิน (b*) และวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Viscometer (Brookfield DV-E, USA) ภายใต้สภาวะการทดสอบเดียวกัน การทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร วิเคราะห์โดยวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH Meter (Mettler Toledo S220, Switzerland) ที่ผ่านการสอบเทียบก่อนการใช้งาน ปริมาณความชื้น (Moisture content) วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC Official Methods (2019) โดยใช้วิธีอบแห้งจนได้น้ำหนักคงที่ และค่าน้ำอิสระ (Water Activity; aw) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Water Activity Meter (Novasina MS1, Switzerland) การทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางชีวภาพ

คุณภาพทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ประเมินจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) ตามวิธีของ [10], [11] วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร รายงานผลเป็น mg Trolox equivalent per 100g dry weight (mg TE/100g dw) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total Anthocyanin Content; TAC) ด้วยวิธี pH Differential Method ตามวิธีของ [12], [13] วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 และ pH 4.5 รายงานผลเป็น mg Cyanidin-3-glucoside equivalent per 100g dry weight (mg CGE/100g dw) และการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content; TPC) ด้วยวิธี Folin–Ciocalteu colorimetric method ดัดแปลงจาก [14] วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโน

เมตร รายงานผลเป็น mg Gallic acid equivalent per gram dry weight (mg GAE/g dw)

2.4.3.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH assay) ตามวิธีของ [10], [11] โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และคำนวณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% DPPH inhibition) ตามสมการที่ (1)

$$\%\ \mathrm{DPPH_{Inhibition}} = \frac{\mathrm{A_{control - A_{sample}}}}{\mathrm{A_{control}}} \mathrm{x100} \quad (1)$$

เมื่อ

$A_{control}$ คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH (Blank)

A_{sample} คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดผสมกับสารละลาย DPPH

ค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) นำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox standard curve) ซึ่งสร้างจากการวัดค่าร้อยละการยับยั้งของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (เช่น 0, 50, 100, 200, 400 และ 800 μM) จากนั้นแปลงเป็นค่าความเข้มข้นของโทรลอกซ์ที่ให้ฤทธิ์เทียบเท่ากัน และคำนวณต่อเป็นหน่วยมิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัมของตัวอย่าง (mg Trolox equivalent per 100 g dry weight; mg TE/100 g dw) โดยคำนึงถึงปัจจัยเจือจาง (dilution factor) และปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total Anthocyanin Content; TAC)

วิเคราะห์ด้วยวิธี pH Differential Method ตามวิธีของ [12],[13] โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 และ pH 4.5 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน ทั้งหมดในรูปไซยานิดิน -3-กลูโคไซด์ (Cyanidin-3-glucoside equivalent) ตามสมการที่ (2)

$$TAC = \frac{A \times MW \times DF}{\varepsilon \times L} \times 1000 \quad (2)$$

เมื่อ

$A = (A_{520nm} - A_{700nm})$ pH 1.0 - $(A_{520nm} - A_{700nm})$ pH 4.5

MW = น้ำหนักโมเลกุลของ Cyanidin-3-glucoside (306.7 g/mol)

DF = Dilution factor

ε = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเชิงโมลาร์ (26,900 L/mol·cm)

L = ความยาวคิวเวต (1 cm)

2.4.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content; TPC)

การวิเคราะห์วิธี Folin–Ciocalteu colorimetric method ดัดแปลงจาก [14] โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร และคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid standard curve) รายงานผลเป็น มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม (mg GAE/g dry weight)

2.4.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวสีอินทรีย์ดำเนินการโดยใช้ผู้บริโภคทั่วไป (Consumer test) จำนวน 50 คน ซึ่งผ่านการคัดเลือกโดยมีเกณฑ์คือ ผู้บริโภคที่มีสุขภาพดี ไม่แพ้อาหารที่ใช้ทดสอบ และให้ความยินยอมเข้าร่วมการทดสอบ การทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้ดำเนินการภายใต้การอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยผู้เข้าร่วมทุกคนลงนามให้ความยินยอมก่อนการทดสอบ โดยเตรียมตัวอย่างโจ๊กผงสูตรละ 5 กรัม เติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 ± 2 °C ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เสิร์ฟที่อุณหภูมิประมาณ 60–70 °C ในภาชนะพลาสติกทนความร้อนขนาด 2 ออนซ์ที่ติดรหัสตัวอย่างแบบสุ่ม (Three-digit code) ประเมินความชอบด้วย 9-point Hedonic Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม นอกจากนี้ประเมินความเหมาะสมของคุณลักษณะด้วย 5-point Just About Right (JAR) Scale เพื่อประเมินความพอดีของสี เนื้อสัมผัส และความข้นหนืด

นอกจากนี้ ประเมินความเหมาะสมของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ด้วย 5-point Just About Right (JAR) Scale เพื่อประเมินความพอดีของสี เนื้อสัมผัส และความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งระดับคะแนนเป็น น้อยเกินไป พอดี และมากเกินไป เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงสูตรผลิตภัณฑ์ ผลการประเมินด้วยวิธี JAR นำมาวิเคราะห์ด้วย Penalty Analysis (Mean Drop Analysis) ตามวิธีของ [15] เพื่อระบุคุณลักษณะที่ส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภค โดยคำนวณจากสมการที่ (3) - (4)

$$Mean\ Drop = \bar{x}_{Not\ JAR} - \bar{x}_{JAR} \quad (3)$$

Total Penalty = Mean Drop x $\%_{Not\ JAR}$ (4)

เมื่อ

$\bar{x}_{Not\ JAR}$ = ค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมของกลุ่มที่ประเมินว่าคุณลักษณะไม่พอดี

$\bar{x}_{JAR}$ = ค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมของกลุ่มที่ประเมินว่าคุณลักษณะพอดี

$\%_{Not\ JAR}$ = % ผู้ประเมินที่ให้คะแนนไม่พอดี

2.4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลเชิงปริมาณแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากชุดข้อมูลจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์จากข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ตามด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (Tukey HSD) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การวิเคราะห์ทางสถิติดำเนินการด้วยโปรแกรม SPSS version 26 (IBM, USA) ผลการประเมิน JAR นำมาวิเคราะห์ด้วย Penalty Analysis (Mean Drop Analysis) เพื่อระบุคุณลักษณะที่ส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภค [15], [16]

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลเชิงปริมาณแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) จากชุดข้อมูลจำนวน 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์จากข้าวสีอินทรีย์ 4 สายพันธุ์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ตามด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey HSD ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์ทั้งหมด 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 3 และดังรูปที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์

สูตรโจ๊กข้าวสีอินทรีย์	L*	a*	b*	ความหนืด (cP)
หอมเวสสันตะระอินทรีย์	48.27 ± 0.25^{d}	9.37 ± 0.15^{a}	8.51 ± 0.18^{b}	542.54 ± 7.00^{a}
ทับทิมชุมแพอินทรีย์	52.46 ± 0.28^{b}	7.25 ± 0.14^{b}	10.75 ± 0.19^{a}	412.58 ± 6.00^{d}
เจ้าหอมดำสูตะบุตรอินทรีย์	48.94 ± 0.22^{C}	9.15 ± 0.16^{a}	8.67 ± 0.18^{b}	510.26 ± 7.00^{b}
สังข์หยดอินทรีย์	53.46 ± 0.27^{a}	7.64 ± 0.15^{b}	10.74 ± 0.19^{a}	432.41 ± 6.00^{C}

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean ± SD (n = 3) อักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการเปรียบเทียบด้วย Tukey HSD ที่ระดับ $p < 0.05$

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าชนิดของข้าวสีอินทรีย์มีผลต่อค่า L*, a*, b* และความหนืดของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยโจ๊กข้าวสังข์หยดอินทรีย์มีค่า L* สูงที่สุด (53.46 ± 0.27) และแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือทับทิมชุมแพอินทรีย์ (52.46 ± 0.28) เจ้าหอมดำสูตะบุตรอินทรีย์ (48.94 ± 0.22) และหอมเวสสันตะระอินทรีย์ (48.27 ± 0.25) ตามลำดับ ค่า L* ที่สูงกว่าของข้าวสังข์หยดและทับทิมชุมแพอาจเนื่องมาจากปริมาณแอนโทไซยานินและรงควัตถุอื่นที่ต่ำ

กว่า ส่งผลให้สีของโจ๊กอ่อนกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ในตารางที่ 5 ด้านความหนืดพบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยหอมเวสสันตะระอินทรีย์มีความหนืดสูงที่สุดเท่ากับ 542.54 ± 7.00 cP ความหนืดที่สูงกว่าของข้าวหอมเวสสันตะระอาจเกี่ยวข้องกับสัดส่วน อะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินและโครงสร้างแป้งของข้าวพันธุ์นี้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Melini และคณะ [2] ที่พบว่าข้าวสีพันธุ์ที่มีอะมิโลสต่ำ มีแนวโน้มให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์สูงกว่า



ก) ลักษณะโจ๊กข้าวสีหอมดำสันตะบุตร



ข) ลักษณะโจ๊กข้าวสีสังค์หยด



ค) ลักษณะโจ๊กข้าวสีทับทิมชุมแพ



ง) ลักษณะโจ๊กข้าวสีเวสสันตะระ

รูปที่ 4 ลักษณะโจ๊กข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์ผสมวัตถุดิบรอง

3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณความชื้น (Moisture content) และค่าน้ำอิสระ (Water activity; aw) ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณภาพทางเคมีของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์

สูตรของโจ๊กข้าวสี	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ความชื้น (% wb)	น้ำอิสระ (a_w)
หอมเวสสันตะระอินทรีย์	7.65 ± 0.04^{a}	3.12 ± 0.04^{c}	0.370 ± 0.005^{ab}
ทับทิมชุมแพอินทรีย์	7.41 ± 0.04^{b}	3.24 ± 0.04^{b}	0.380 ± 0.006^{a}
เจ้าหอมดำสูตะบุตร	7.26 ± 0.04^{c}	3.41 ± 0.05^{a}	0.370 ± 0.005^{ab}
สังข์หยดอินทรีย์	7.34 ± 0.04^{bc}	3.15 ± 0.04^{bc}	0.360 ± 0.005^{b}

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean ± SD (n = 3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่า pH ของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 7.26–7.65 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตรอยู่ในช่วง 3.12–3.41% (wb) ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. ที่กำหนดไม่เกินร้อยละ 5 และค่า aw อยู่ในช่วง 0.36–0.38 ซึ่งต่ำกว่า 0.60 แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากการเจริญของจุลินทรีย์

3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (mg TE/100g dw) ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด Total Anthocyanin (mg CGE/100g dw) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด Total Phenolic (mg CGE/100g dw) แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ

สูตรของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์	DPPH (mg TE/100g dw)	Total Anthocyanin (mg CGE/100g dw)	Total phenolic (mg CGE/100g dw
หอมเวสสันตะระอินทรีย์	98.24 ± 0.60^{c}	37.51 ± 0.45^{a}	120.32 ± 1.10^{a}
ทับทิมชุมแพอินทรีย์	102.65 ± 0.65^{ab}	28.64 ± 0.35^{c}	98.20 ± 0.90^{b}
เจ้าหอมดำสูตะบุตร	104.32 ± 0.70^{a}	35.15 ± 0.42^{b}	119.25 ± 1.10^{a}
สังข์หยดอินทรีย์	101.23 ± 0.60^{b}	27.98 ± 0.35^{c}	97.25 ± 0.90^{b}

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean ± SD (n = 3) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Tukey HSD ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH แตกต่างกันระหว่างสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเจ้าหอมดำสูตะบุตรอินทรีย์มีค่าสูงที่สุด (104.32 ± 0.70 mg TE/100g dw) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยหอมเวสสันตะระอินทรีย์มีปริมาณสูงที่สุด (37.51 ± 0.45 mg CGE/100g dw) ความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินระหว่างสายพันธุ์สอดคล้องกับการศึกษาของ Gogoi และคณะ [3] ที่รายงานว่าปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามสายพันธุ์ โดยข้าวที่มีสีเข้มกว่ามักมีแอนโทไซยานินสูงกว่า สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่าหอมเวสสันตะระอินทรีย์ (120.32 ± 1.10 mg GAE/g dw) และเจ้าหอมดำสูตะบุตรอินทรีย์ (119.25 ± 1.10 mg GAE/g dw) อยู่ในกลุ่ม a และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Melini และคณะ [2] ที่พบว่าข้าวสีที่มีสีเข้มมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าข้าวสีอ่อน

3.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

เพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวสีอินทรีย์ทั้ง 4 สูตร ได้ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบทั่วไป จำนวน 50 คน ด้วยวิธีการประเมินความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale และการประเมินความพอดีของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี 5-point Just About Right (JAR) Scale โดยประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความข้นหนืด และความชอบโดยรวม [17] ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ (6) – (7)

ตารางที่ 6 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์ด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale

สูตรของโจ๊กข้าวสี	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	ทดสอบกลิ่น	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
หอมเวสสันตะระอินทรีย์	5.00 ± 1.20^{b}	5.20 ± 1.15^{b}	5.00 ± 1.18^{b}	5.20 ± 1.21^{b}	4.50 ± 1.25^{b}	5.40 ± 1.16^{b}
หอมดำสูตะบุตรอินทรีย์	6.00 ± 1.10^{a}	5.80 ± 1.08^{a}	5.50 ± 1.12^{ab}	5.70 ± 1.15^{ab}	5.50 ± 1.16^{a}	6.36 ± 1.05^{a}
ทับทิมชุมแพอินทรีย์	6.20 ± 1.08^{a}	5.90 ± 1.05^{a}	6.00 ± 1.10^{a}	5.60 ± 1.12^{ab}	5.60 ± 1.10^{a}	6.05 ± 1.08^{a}
สังข์หยดอินทรีย์	5.50 ± 1.15^{ab}	5.70 ± 1.10^{ab}	5.80 ± 1.08^{a}	5.55 ± 1.10^{a}	5.70 ± 1.08^{a}	6.00 ± 1.10^{a}

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean ± SD, n = 50; อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก One-way ANOVA และ Tukey HSD ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาความชอบโดยรวม พบว่าโจ๊กข้าวสีเจ้าหอมดำสูตะบุตรอินทรีย์มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด 6.36 ± 1.05 คะแนน รองลงมาคือ ทับทิมชุมแพอินทรีย์ (6.05 ± 1.08) สังข์หยดอินทรีย์ (6.00 ± 1.10) และหอมเวสสันตะระอินทรีย์ (5.40 ± 1.16) โดยเจ้าหอมดำสูตะบุตร ทับทิมชุมแพ และสังข์หยดอยู่ในกลุ่มทางสถิติเดียวกัน (a) และมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าหอมเวสสันตะระ (b) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 7 ผลการประเมินด้วย 9-point Hedonic Scale และทิศทางการปรับปรุง (Just About Right Scale) ของโจ๊กข้าวสีอินทรีย์

คุณลักษณะที่ประเมิน	ควรลดลงมาก (%)	ควรลดลงเล็กน้อย (%)	เหมาะสมพอดี (%)	ควรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (%)	ควรเพิ่มขึ้นมาก (%)
สีของข้าว	0.00	10.00	50.00 ± 5.20	40.00	0.00
เนื้อสัมผัสของโจ๊ก	15.00	20.00	50.00 ± 4.80	15.00	0.00
ความหนืดของโจ๊ก	0.00	10.00	80.00 ± 4.10	10.00	0.00

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็น mean ± SD สำหรับกลุ่ม "เหมาะสมพอดี"; เกณฑ์พิจารณาความพอดี ≥ 65% ถือว่าไม่จำเป็นต้องปรับปรุง [20]

3.5 การออกแบบฉลากบรรจุภัณฑ์แบบกล่อง

ออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับโจ๊กข้าวสีอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปทั้ง 4 สายพันธุ์ในรูปแบบกล่องกระดาษ โดยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator CC ในการออกแบบกราฟิก กล่องมีขนาด 10 × 14 × 3 ซม. (กว้าง × ยาว × สูง) วัสดุกล่องเป็นกระดาษ Duplex ขนาด 350 แกรม เคลือบ UV สูตรด้านด้านนอก ฉลากมีข้อมูลครบถ้วนตามข้อกำหนดฉลากอาหาร ประกอบด้วย ชื่อผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบ น้ำหนักสุทธิ วิธีการชง ข้อมูลโภชนาการ และข้อมูลผู้ผลิต โดยแต่ละสายพันธุ์มีสีพื้นฉลากที่แตกต่างกันเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถแยกแยะผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ดังรูปที่ 5–8



รูปที่ 5 กล่องโจ๊กข้าวสีสังข์หยด



รูปที่ 6 กล่องโจ๊กข้าวสีหอมดำสันตะบุตร



รูปที่ 7 กล่องโจ๊กข้าวสีเวชเวสสันตะระ



รูปที่ 8 กล่องโจ๊กข้าวสีทับทิมชุมแพ

4. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากข้าวสีอินทรีย์ได้สำเร็จ 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ โจ๊กข้าวสีอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป เครื่องดื่มผงชงจากข้าวสีอินทรีย์ และเซรั่มบำรุงผมจากสารสกัดข้าวสีอินทรีย์ ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยในการพัฒนาและประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผลิตได้ด้วยอัตราส่วนข้าวสีต่อน้ำ 1:11 และสภาวะการทำแห้งด้วยลูกกลิ้งที่ 130–140°C ความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที โดยชนิดของข้าวสีมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี คุณสมบัติทางชีวภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคอย่างชัดเจน ข้าวเจ้าหอมดำสูตะบุตรให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ขณะที่ข้าวหอมเวสสันตะระให้ปริมาณแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด สำหรับเครื่องดื่มผงชง สูตรที่เหมาะสมคืออัตราส่วนข้าวสีต่อสารสกัด 85:15 ร่วมกับมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 ซึ่งช่วยคงปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนเซรั่มบำรุงผมมีความคงตัวทางกายภาพและปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงถึงร้อยละ 96 ประโยชน์ของงานวิจัย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของข้าวสีอินทรีย์ในการต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ทั้งกลุ่มอาหารและผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม ซึ่งเป็นแนวทางเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวสีอินทรีย์และสร้างทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภค อีกทั้งข้อมูลกระบวนการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับผู้ประกอบการและเกษตรกรที่สนใจแปรรูปข้าวสีอินทรีย์ในเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อยอด ควรศึกษาความคงตัวและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในสภาวะจริง ประเมินความปลอดภัยและต้นทุนการผลิตในระดับกึ่งอุตสาหกรรม รวมถึงทดสอบการยอมรับของตลาดในกลุ่มผู้บริโภคที่กว้างขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจก่อนขยายผลสู่การผลิตและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและความร่วมมือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] R. Jr. N. Tiozon, K. J. D. Sartagoda, A. R. Fernie, and N. Sreenivasulu, "The nutritional profile and human health benefit of pigmented rice and the impact of post-harvest processes and product development on the nutritional

components: A review," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 63, no. 19, pp. 3867–3894, Oct. 2021, doi: 10.1080/10408398.2021.1995697.

[2] F. Colombo, C. Cappa, C. Bani, M. Magni, S. Biella, P. Restani, C. D. Lorenzo, " Characterization of color, phenolic profile, and antioxidant activity of Italian pigmented rice varieties after different technological treatments," *Food Bioscience*, vol. 53, Art. no. 102674, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.fbio.2023.102674.

[3] P.Gogoi, P. Sharma, G. Goudar, A. Mahajan, and S. K. Banjara, " Phenolic composition and antioxidant potential of Indian pigmented rice landraces cultivated under identical agro-climatic conditions," *Journal of Cereal Science*, vol. 122, Art. no. 104120, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.jcs.2025.104120.

[4] A. Z.Rupa, A. T. M. A. Rahim, Md. H. Hossain, and K. S. Ahmed, "Nutritional, phytochemical and antioxidant properties of Bangladeshi pigmented rice (red and black), grains and pseudograins," *Food Chemistry Advances*, vol. 6, Art. no. 100862, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.focha.2024.100862.

[5] พรพิมล มูลแก้ว, “การสกัดสารเบต้ากลูแคนจากเห็ดนางฟ้าภูฐานด้วยคลื่นไมโครเวฟ,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2561.

[6] วรางคณา สมพงษ์, ภาสธีระศิลป์ วีสกุล และคณิน ศรีสาลีสกุลรัตน์, "การสกัดกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica* L.) ด้วยไมโครเวฟและการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอรี," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, เมษายน–มิถุนายน 2559.

[7] อารีรัตน์ ซื่อดี, "การใช้คลื่นไมโครเวฟสกัดสารสำคัญของพืชสมุนไพร," *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 1–14, มกราคม–เมษายน 2560.

[8] R. Abarri, I. Toprakci, E. Kurtulbas, and S. Sahin, " Estimation of diffusion and mass transfer coefficients for the microwave- assisted extraction of bioactive substance from Moringa oleifera leaves," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 13, pp. 5125–5132, Mar. 2021.

[9] ปาริษา ทองสุข, ศิริพร เพชรมูล, สุวิมล ประสม, วีรยุทธ บุญไทย, และ ปุณฑริกา รัตนรังค์, "กรรมวิธีการสกัดและการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอเพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์," *วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร*, ปีที่ 39, ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 571–577, 2551.

[10] I. G. Zigoneanu, L. Williams, Z. Xu, and C. M. Sabliov, " Determination of antioxidant components in rice bran oil extracted by microwave- assisted method," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 11, pp. 4910–4918, Jul. 2008.

[11] S. Perino-Issartier and M. Abert-Vian, "Solvent free microwave- assisted extraction of antioxidants from sea buckthorn (Hippophae rhamnoides) food by- products," *Food and Bioprocess Technology*, vol. 4, pp. 1020–1028, Sep. 2011.

[12] E. Kurtulbas, A. G. Pekel, M. Bilgin, D. P. Markris, and S. Sahin, "Citric acid- based deep eutectic solvent for the anthocyanin recovery from Hibiscus sabdariffa through microwave-assisted extraction," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 12, pp. 351–360, Jan. 2022.

[13] J. Lee, R. W. Durst, and R. E. Wrolstad, " Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study," *Journal of AOAC International*, vol. 88, no. 5, pp. 1269–1278, Sep. 2005.

[14] F. Namjooyan, R. Azemi, A. Imani, and M. Ramezani, " Determination of total phenolic content and antioxidant activity of Teucrium polium L. ," Jundishapur Journal of Natural *Pharmaceutical Products*, vol. 5, no. 2, pp. 81–86, 2010.

[15] C. Wangcharoen, " Penalty analysis for improving consumer acceptability of instant rice porridge," *International Food Research Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 1617–1622, 2013.

[16] P. Narayanan, B. Chinnasamy, L. Jin, and S. Clark, " Use of just- about- right scales and penalty analysis to determine appropriate concentrations of stevia sweeteners for vanilla yogurt," *Journal of Dairy Science*, vol. 97, no. 6, pp. 3262– 3272, Jun. 2014, doi: 10.3168/jds.2013-7365.

[17] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, "ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์การโฆษณาอาหาร พ.ศ. 2561," ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 135, ตอนพิเศษ 322, หน้า 11, 17 ธันวาคม 2561