

คุณสมบัติของผงโปรตีนจากรำข้าวที่สกัดด้วยเอนไซม์และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์วุ้น

Characterization of Enzyme-Extracted Rice Bran Protein Powder and Its Application in Protein-Enriched Jelly

ชนิษฐา ฉิมพาลี¹ จินดาร์ตน์ ไจตรอง¹ สุจิรา ศรีดาชาติ¹ และ จิรนนท์ รัตสีโว^{1*}

Khanittha Chimpali¹, Jindarat Jaitrong¹, Suchira Sridachat¹ and Jiranan Ratseewo^{1*}

¹คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ

¹Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University, Sisaket Province

Corresponding Author: jiranan.r@gmail.com

Received: February 27, 2025

Revised: July 7, 2025

Accepted: July 9, 2025

บทคัดย่อ

รำข้าวเป็นส่วนเหลือทิ้งจากการผลิตข้าวแต่ยังอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยเอนไซม์สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์วุ้น รำข้าวจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (100 กรัม ต่อ 1 มิลลิลิตร) ใช้ระยะเวลาในการสกัดที่แตกต่างกัน คือ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่ารำและรำข้าวสกัดมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วง 0.560-0.715 ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.19-10.83 รำข้าวสดมีค่า L^* สูงที่สุด 56.13 ขณะที่รำข้าวสกัด 8 ชั่วโมง มีค่า a^* และ b^* สูงสุดคือ 9.97 และ 32.32 ตามลำดับ นอกจากนี้การสกัดที่ 8 ชั่วโมง ยังมีปริมาณโปรตีนและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด 18.02 และ 236.45 mg GAE/g ดังนั้น เลือกสภาวะเหมาะสมที่ระยะเวลาสกัด 8 ชั่วโมง จากนั้นนำผงรำข้าวสกัดเสริมลงในวุ้นที่ปริมาณแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 10, 20 และ 30 กรัม ผลการศึกษาพบว่าปริมาณโปรตีนและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดพบในวันที่เติมผงรำข้าวสกัด 30 กรัม (ร้อยละ 7.07 และ 148.85 mg GAE/g) รองลงมาคือสูตรที่เติม 20 กรัม (ร้อยละ 5.67 และ 106.32 mg GAE/g) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสพบว่าค่าลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของวุ้นสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมผงโปรตีนมีคะแนนสูงสุด รองลงมาเป็นสูตรที่เติมผงโปรตีนจากรำข้าว 10 กรัม และ 20 กรัม ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมคือวุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว 20 กรัม สามารถพิจารณาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับผู้บริโภคต่อไป

คำสำคัญ: รำข้าว, เอนไซม์, วุ้น, โปรตีน, สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

Abstract

Rice bran is a by-product of rice production but remains rich in nutritional value. The objective of this research was to study the extraction of protein from rice bran using enzymes for application jelly products. Rice bran from Khao Dawk Mali 105 rice was extracted using cellulase enzyme (100 g: 1 ml). Samples were extracted for 8, 16, and 24 hours and dried at 60 °C. The extracted rice bran powder was analyzed for physical and chemical properties, and total phenolic content. The results showed that rice bran and extracted rice bran samples had water activity (a_w) and moisture content in the ranges of

0.569- 0.715 and 8.19-10.83%, respectively. The highest L^* (56.13) value was found in fresh rice bran, while the 8-hour extracted sample had the highest values of a^* and b^* (9.97 and 32.32 respectively). In addition, the 8-hour extracted sample had the highest protein content and total phenolic content of 18.02% and 236.45 mg GAE/g, respectively. Therefore, an extraction time at 8 hours was selected for jelly production. Four different levels of extracted rice bran powder were added to the jelly (0, 10, 20, and 30 g). The results showed that the highest protein and total phenolic contents were found in jelly supplemented with 30 g of rice bran powder, with values of 7.07% and 148.85 mg GAE/g, followed by jelly supplemented with 20 g (5.67% and 106.32 mg GAE/g). Sensory evaluation revealed that: color, odor, flavor, texture, and overall acceptability scores were highest for the control formula (0 g), followed by jelly supplemented with extracted rice bran as 10 g and 20 g of extracted rice bran. Therefore, the optimal formula for this study was rice bran protein supplement at 20 g. This formula could be considered a nutritionally enhanced food product for consumers.

Keywords: Rice bran, Enzyme, Jelly, Protein, Total phenolic content

1. บทนำ

รำข้าว (Rice bran) คือส่วนของเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดข้าวที่ถูกขัดสีออกจากเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าว ประกอบด้วยชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด และคัพภะ เป็นส่วนใหญ่ รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวหายาที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากข้าว อย่างไรก็ตามรำถูกขายเป็นอาหารสัตว์เป็นหลัก (Houston, 1972; Saunders, 1990) รำข้าวยังถือเป็นแหล่งของโปรตีนและใยอาหารที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ (Abdul-Hamid & Luan, 2000) มีสารพฤกษเคมีที่มีผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น โทโคฟีรอล โทโคไตรอีนอล และแกมมา-โอไรซานอล สารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Butsat et al., 2010) รำข้าวและจมูกข้าวมีสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ ดังนั้นการสกัดสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่เป็นสารสำคัญจากรำข้าวเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารเสริม หรือใช้ทางด้านการแพทย์จึงเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าแก่รำข้าว (Phaungseang & Rattanakon, 2021) มีคุณค่าทางอาหารสูง มีโปรตีน ร้อยละ 12-15 โปรตีนจากรำข้าวมีปริมาณไลซีนสูงกว่าโปรตีนในเมล็ดข้าวหรือโปรตีนจากรำธัญพืชอื่น ๆ (Kubota et al., 2010) โปรตีนถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดซึ่งมีส่วนร่วมในการพัฒนาอาหารมูลค่าสูงหรือใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพที่กำลังเป็นที่ต้องการสูงในปัจจุบัน โดยทำความเข้าใจคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสกัดจากรำข้าวสามารถนำไปใช้กับงานด้านอาหารได้กว้างขึ้น ด้วยการยอมรับของผู้บริโภคที่สูงขึ้น เช่น การเติมรำข้าวสกัดในขนมปังสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนและยังช่วยคงความนุ่มของเนื้อขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา (Jiamyangyuen et al., 2005) การสกัดโปรตีนจากรำข้าวมีหลายวิธี ทั้งการใช้กรด เบส (Gadalkar et al., 2017) มีงานวิจัยที่ศึกษาการสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยใช้ตัวทำละลายเชิงยูเทกติก (Deep Eutectic Solvent; DES) ร่วมกับการวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และ SDS-PAGE พบว่าการใช้ DES ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดโปรตีน และสามารถระบุโครงสร้างโปรตีนกลุ่มอัลบูมินและโกลบูลินที่ได้จากรำข้าวอย่างชัดเจน (Ramlee et al., 2024) ในปัจจุบันมีการศึกษาการใช้วัตถุดิบที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Ratseewo et al., 2025) และใช้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมาประยุกต์ในอาหารเพื่อลดการใช้สารเคมี เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เช่น การใช้สารออกฤทธิ์จากธรรมชาติ ทั้งเพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอาหารสด (Sittisart et al., 2024) รวมถึงการใช้เอนไซม์เพื่อลดการใช้สารเคมีในการสกัดรำข้าว เช่น อัลคาเลส ในกระบวนการเพปไทด์ไฮโดรไลเซต (Wachirasiri et al., 2021) อย่างไรก็ตามรำข้าวส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลสที่ห่อหุ้มสารอาหารไว้ภายในองค์ประกอบของรำข้าว ดังนั้นจาก

สมมุติฐานที่ว่าหากสามารถย่อยเซลลูโลสให้มีโมเลกุลเล็กลงอาจจะสามารถปลดปล่อยโปรตีนและสารสำคัญอื่น ๆ ในรำข้าวออกมาได้ ซึ่งข้อมูลการสกัดและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดโปรตีนจากรำข้าวที่ใช้เอนไซม์เซลลูเลสสกัดมีจำกัด ดังนั้นหากมีการศึกษาการสกัดและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ปริมาณโปรตีนของรำข้าวสกัดจะเป็นข้อมูลสำหรับการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวไทยซึ่งไม่ใช่โปรตีนที่ผู้บริโภคบางกลุ่มมีการแพ้เหมือนโปรตีนจากถั่วเหลืองนม และข้าวสาลีและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทยได้ ร่วนเป็นขนมหวานที่ทำง่าย ราคาไม่แพง เนื่องจากเนื้อสัมผัสเคี้ยวง่าย ร่วนจึงสามารถรับประทานได้ทุกโอกาสและทุกวัย รวมถึงผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีปัญหาระบบการเคี้ยว นอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงให้มีรสชาติแตกต่างกันได้หลายรสโดยใช้การแต่งกลิ่นรสและสีที่ต้องการ ร่วนทั่วไปมักมีองค์ประกอบหลักคือน้ำตาล จึงยังขาดคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีน การเสริมโปรตีนจากรำข้าว ซึ่งเป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคุณค่าทางอาหารสูง จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการประยุกต์ใช้โปรตีนจากรำข้าว และร่วนให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพทางเลือกนอกจากด้านการแปรรูปอาหาร เช่น ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาและการส่งเสริมสุขภาพ เนื่องจากโปรตีนจากรำข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ จึงเหมาะสำหรับผู้รักสุขภาพ นักกีฬา หรือผู้ที่ต้องการเพิ่มปริมาณโปรตีนในอาหารเพื่อเสริมสร้างกล้ามเนื้อและฟื้นฟูจากการออกกำลังกาย การเสริมโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ร่วนเสริมโปรตีน จึงเป็นทางเลือกสำหรับทุกกลุ่มวัยที่ต้องการโปรตีนในรูปแบบที่ย่อยง่าย ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยเอนไซม์ และวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ รวมถึงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผงโปรตีน ตลอดจนประเมินการประยุกต์ใช้ผงโปรตีนดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ร่วนเสริมโปรตีน เพิ่มมูลค่าของรำข้าวที่เป็นส่วนเหลือทิ้ง ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผู้บริโภคต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุดิบและการเตรียมตัวอย่างผงโปรตีนรำข้าว

การผลิตผงโปรตีนรำข้าวด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ที่สภาวะและอุณหภูมิต่าง ๆ โดยคัดเลือกรำข้าวจากข้าวหอมมะลิ กข105 (*Oryza sativa* L.) เป็นรำข้าวละเอียดไม่มีกลิ่นหืน นำรำข้าวละเอียด 500 กรัม มานึ่ง 15 นาที เติมน้ำเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณ 5 มิลลิลิตร ความเข้มข้นอัตราส่วน 100:1 (กรัม:มิลลิลิตร) (Patindol et al., 2007) นำมาบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยศึกษาเวลาในการสกัดต่างกัน คือ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำไปกรองกากออกแล้วต้มให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ นำมาเทใส่ถาดเกลี่ยให้เท่ากันอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จนความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 5 จากนั้นนำผงไปปั่น ร่อนด้วยตะแกรง 60 เมช บรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพนำผงโปรตีนจากรำข้าวที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้ การวิเคราะห์ค่าสี วัดค่าความสว่าง (L^*) สีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) วัดด้วยเครื่อง MiniScan EZ manual version 1.2 การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ Water Activity (a_w) วิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ (A.O.A.C., 2000) ใช้เครื่องตู้อบลมร้อน Hot air oven โดยทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจลดาล์ (Kjeldahl method) ด้วยเครื่องวิเคราะห์โปรตีนเจลดาล์ (FLEXLAB) ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2000)

2.3 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตัวอย่างผงโปรตีนจากรำข้าวนำมาสกัดด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 อัตราส่วนตัวอย่างต่อสารละลาย 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ครบเวลาแล้วนำไปกรอง เก็บส่วนใสนำไปปั่นเหวี่ยง

ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ความเร็วรอบ $1400 \times g$ เป็นเวลา 20 นาที ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ เก็บรักษาตัวอย่างที่สกัดแล้วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C องศาเซลเซียส นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงโปรตีนจากรำข้าวและวุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว การวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกตามวิธี Folin-ciocalteu (Srisan et al, 2023) และอ่านค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) สารละลายตัวอย่าง 300 ไมโครลิตร ผสมกับ Folin-ciocalteu reagent ปริมาตร 2.25 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ในที่มืด) 5 นาที เติมสารละลาย 0.35 M NaOH ปริมาตร 2.25 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ในที่มืด) 90 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลาย gallic acid ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารตัวอย่างแห้ง (mg GAE/g DW)

นำผลการศึกษาที่ได้มาประกอบการพิจารณาเพื่อเลือกสภาวะการสกัดผงโปรตีนจากรำข้าวที่เหมาะสมในการนำไปผลิตวุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวต่อไป

2.4 การผลิตวุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว

ผสมน้ำเปล่ากับผงวุ้นและผงโปรตีนที่เสริมในระดับที่แตกต่างกัน ที่ 0, 10, 20 และ 30 กรัม นำน้ำเปล่า 250 กรัม ผสมกับวุ้น 15 กรัม คนให้เข้ากัน แล้วแช่ทิ้งไว้ 10 นาทีให้ผงวุ้นอมน้ำ จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C องศาเซลเซียส แล้วเติมน้ำตาล 40 กรัม คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำโซร่าปองุ่นและแต่งกลิ่นองุ่น (เพื่อช่วยเพิ่มความหอมและกลบกลิ่นรำ) ปริมาณ 50 กรัม และ 2.5 กรัม ตามลำดับ เคี่ยวให้เข้ากันจนน้ำเดือดแล้วปิดไฟ เทวุ้นลงไปในแป้นพิมพ์ พักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำตัวอย่างไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C องศาเซลเซียส เพื่อให้ตัวอย่างวุ้นแข็งตัวและวุ้นออกจากแป้นพิมพ์ แล้วนำมาตัดเป็นชิ้นแล้วบรรจุลงกล่องบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท นำผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวที่ได้เตรียมทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธีเช่นเดียวกันกับผงโปรตีนจากรำข้าว

2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างวุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวนำมาตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการทดสอบความชอบแบบ 9 ระดับ (9- Point hedonic scale) แบ่งระดับความชอบได้ดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ปัจจัยที่ทดสอบ ได้แก่ สี ความใส กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม (หนังสือรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลองของมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ เลขที่ HE681017)

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวางแผนทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและเคมี การวิเคราะห์ค่า water activity (a_w) ความชื้น และค่าสีของรำสดและผงโปรตีนจากรำข้าวที่ผ่านการใช้เอนไซม์เซลลูเลสสกัดที่ระยะเวลาแตกต่างกันได้แก่ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง แสดงดัง Table 1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณค่า a_w ของรำข้าวและผงโปรตีนจากรำข้าวในการแปรรูปรำข้าวที่ใช้เวลาในการสกัดที่แตกต่างกันได้แก่ 8 16 และ 24 ชั่วโมง พบว่าค่า a_w อยู่ในช่วง 0.56-0.715 โดยค่า a_w ของรำข้าวมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.715 รองลงมาคือ การสกัดรำข้าวที่ 8 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 0.64 และค่า a_w ต่ำสุดคือการสกัดรำข้าวที่ 16 และ 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 0.56 ซึ่งไม่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการศึกษาพบว่าค่า a_w ค่อนข้างต่ำซึ่งยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (dehydrated food) ที่กำหนดไว้คือต้องมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียที่เกิดจาก รา ยีสต์ และแบคทีเรีย ความชื้นของตัวอย่างที่อยู่ในช่วงร้อยละ 8.19-10.83 โดยค่าความชื้นของผงโปรตีนจากรำข้าวสดมีค่าความชื้นต่ำที่สุด ร้อยละ 8.19 รองลงมาคือการสกัดรำข้าวที่ 8 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 8.98 และมีค่าความชื้นสูงที่สุดคือการสกัดรำข้าวที่ 24 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 10.83 ผลจากการศึกษาพบว่า ค่าความชื้นมีปริมาณค่อนข้างต่ำแต่ไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพข.๑๓๖/๒๕๕๘) ผลการวิเคราะห์ค่าสีของรำสดและผงโปรตีนจากรำข้าวที่ใช้เวลาในการสกัดที่แตกต่างกัน พบว่าค่าสีมีค่าความสว่าง (L^*) ของรำสดและการสกัดรำข้าว มีค่าอยู่ในช่วง 27.95-56.13 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของรำสดและผงโปรตีนจากรำข้าว อยู่ในช่วง 4.67-9.97 ค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 8.65-32.32 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ระยะเวลาที่นาน 8-16 ชั่วโมง และลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาสกัดเป็น 24 ชั่วโมง และค่าความเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ระยะเวลาที่นาน 8 ชั่วโมง ลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาสกัดเป็น 16-24 ชั่วโมง

Table 1. Physical and chemical properties of rice bran and extracted rice bran

Samples	Water activity	Moisture content	Color		
	(a_w)	(%)	L^*	a^*	b^*
Rice bran	0.715±0.00 ^a	8.19±0.15 ^d	56.13±0.17 ^a	6.70±0.04 ^c	23.02±0.12 ^b
Extracted rice bran at 8 h	0.647±0.03 ^b	8.98±0.15 ^c	38.70±0.41 ^b	9.97±0.23 ^a	32.32±0.13 ^a
Extracted rice bran at 16 h	0.560±0.00 ^c	10.13±0.18 ^b	32.71±0.32 ^c	9.12±0.03 ^b	17.73±0.16 ^c
Extracted rice bran at 24 h	0.562±0.01 ^c	10.83±0.40 ^a	27.95±0.27 ^d	4.67±0.19 ^d	8.65±0.17 ^d

Note; Values are expressed as means ± standard deviation (n = 3). Means with different letters in the same column were significantly different at the level $p < 0.05$.

การวิเคราะห์ค่าโปรตีนของผงรำข้าวสกัด (Figure 1.) พบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดที่เวลาการสกัด 8 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 18.02±0.21 รองลงมาอันดับที่ 2 คือการสกัด 16 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 16.37±0.17 รองลงมาอันดับที่ 3 คือการสกัด 24 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 15.30±0.05 และมีต่ำสุดที่รำสด มีค่าร้อยละ 8.45±0.15 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณโปรตีนของรำที่ไม่ผ่านการสกัดมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงโปรตีนจากรำข้าว การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของรำข้าวและผงโปรตีนจากรำข้าวที่ใช้ระยะเวลาการสกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง (Figure 2.) พบว่าปริมาณมีค่าอยู่ในช่วง 117.78-236.45 mg GAE/g ผลการศึกษาพบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของการสกัดรำข้าว 8 ชั่วโมง มีค่าสูงที่สุด มีค่า 236.45±7.04 mg GAE/g ค่ารองลงมา คือรำสด มีค่า 127.93±1.88 mg GAE/g ขณะที่ค่าต่ำที่สุดคือการสกัดรำข้าว 24 ชั่วโมง มีค่า 95.00±1.22 mg GAE/g

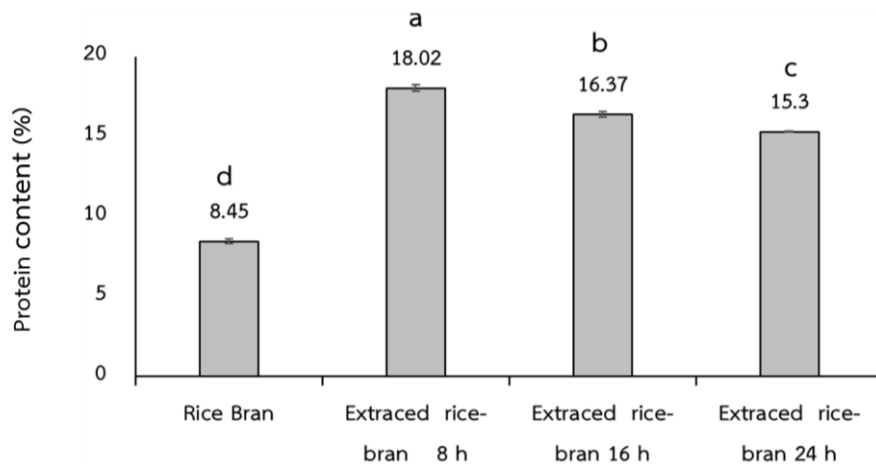


Figure 1. Protein content of rice bran and extracted rice bran

Means with different letters were significantly different at the level $p < 0.05$

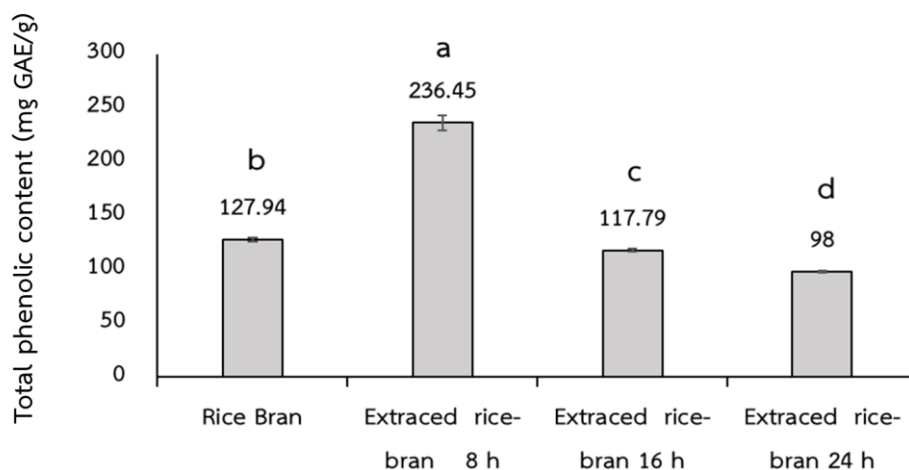


Figure 2. Total phenolic content of rice bran and extracted rice bran

Means with different letters were significantly different at the level $p < 0.05$

จากการพิจารณาผลการศึกษาเวลาการสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ระยะต่างกัน 3 ระดับ คือ 8, 16 และ 24 ชั่วโมง สี ปริมาณโปรตีน ตลอดจนสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกการสกัดที่เวลา 8 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณโปรตีนและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด จึงนำมาเสริมในการผลิตวุ้นแล้วนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่อไป

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 กรัม คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีน Table 2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณค่า a_w ของวุ้นที่เสริมผงโปรตีนจากรำข้าวผลการทดลองที่ระดับแตกต่างกัน ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 กรัม พบว่าค่า a_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.96-0.99 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าปริมาณน้ำอิสระมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร ซึ่งแบคทีเรียส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.90 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.70 ซึ่งวุ้นจัดเป็นอาหารกึ่งแห้ง ควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระ

0.60-0.85 ผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระ 0.96-0.99 ดังนั้นทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้เร็วกว่าปกติเล็กน้อยเนื่องจากแบคทีเรียและราส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดี

Table 2. Physical and chemical properties of jelly product supplemented with rice bran protein

Jelly product supplemented with rice bran protein	Water activity (a_w)	Moisture content (%)	Color		
			L*	a*	b*
0 g	0.990±0.00 ^a	64.38±0.57 ^a	37.19±0.19 ^a	22.14±0.10 ^a	7.90±0.09 ^d
10 g	0.961±0.01 ^b	63.64±1.24 ^a	32.82±0.26 ^c	16.09±0.02 ^b	11.25±0.10 ^c
20 g	0.964±0.01 ^b	59.54±0.96 ^b	35.66±0.12 ^b	15.85±0.08 ^c	14.65±0.08 ^a
30 g	0.967±0.01 ^{ab}	57.69±0.11 ^b	29.27±0.09 ^d	13.80±0.01 ^d	12.27±0.03 ^b

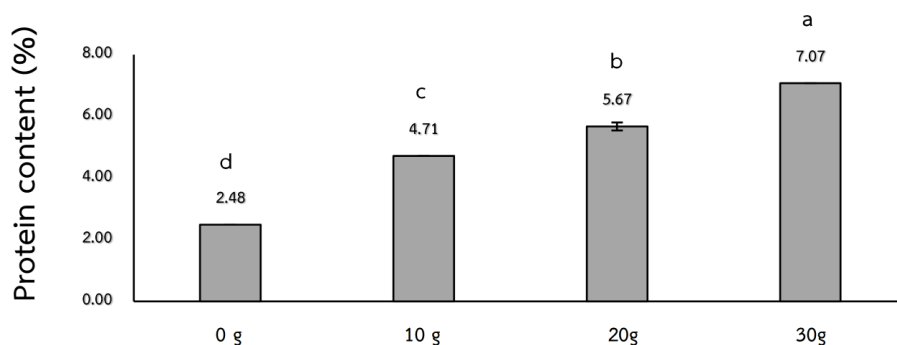
Note; Values are expressed as means ± standard deviation (n = 3). Means with different letters in the same column were significantly different at the level $p < 0.05$.

การศึกษาคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว แสดงดัง Table 2. ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ของแต่ระดับการเติมผงโปรตีนจากรำข้าวที่ 0, 10, 20 และ 30 กรัม ค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 57.69-64.38 มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวที่มีความชื้นสูง คือมีความชื้นร้อยละ 10-20 แต่มีความชื้นไม่สูงมากนัก คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวผลการทดลองที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 กรัม แสดงใน Table 2. จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพด้านสี พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว ตัวอย่างที่เติม 0 กรัม (ควบคุม) มีค่าความสว่างสูงที่สุดคือ 37.19 รองลงมาคือชุดการทดลองที่เติมผงโปรตีนจากรำข้าวที่ระดับ 20 กรัม 10 กรัม และ 30 กรัม มีค่า 35.66, 32.82 และ 29.27 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2. เห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดง (a*) มากกว่าค่าสีเหลือง (b*) เนื่องจากการใช้น้ำอุนุ่นในการผลิตวุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว จึงทำให้มีค่าสีแดงมากกว่าค่าสีเหลืองซึ่งผลิตภัณฑ์เป็นสีจากธรรมชาติ โดยไม่มีการเติมแต่งสีลงไป แนวโน้มการเติมผงโปรตีนจากรำข้าวลงไปมากขึ้นส่งผลให้ค่าสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น แต่ค่าสีเหลืองลดลง (b*)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว ที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 กรัม (Figure 3.) วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวพบว่าวุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมผงโปรตีน มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 2.48 อาจได้จากผงวุ้นที่เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการแปรรูปวุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว สูตรที่มีการเติม 10, 20 และ 30 กรัม มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 4.71±0.12, 5.67±0.23 และ 7.07±0.28 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวที่เสริมระดับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 กรัม

จาก Figure 4. เห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าวที่มีการเติมผงโปรตีนจากรำข้าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีค่าสูงที่สุด คือตัวอย่างที่มีการเติมผงโปรตีนที่ระดับ 30 กรัม มีค่าเท่ากับ 148.85±3.78 mg GAE/g และมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ลดลงที่ระดับการเสริม 20, 10 และ 0 กรัม มีค่าเท่ากับ 106.32±2.81 mg GAE/g, 83.19±4.20 mg GAE/g และ 51.89±3.84 mg GAE/g ตามลำดับ



Jelly supplemented with rice brane protein (gram)

Figure 3. Protein content of jelly supplemented with rice brane protein

Means with different letters were significantly different at the level $p < 0.05$

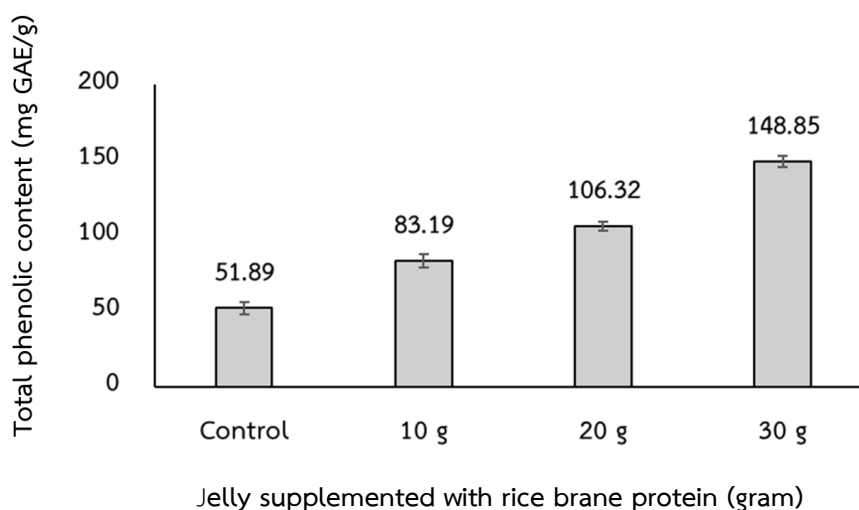


Figure 4. Total phenolic content of jelly supplemented with rice bran protein

Means with different letters were significantly different at the level $p < 0.05$.

ส่วนผลการศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์วุ้นเสริมโปรตีนจากรำข้าว ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงดัง Table 3. โดยทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้จำนวนผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน กำหนดให้คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุดไปจนถึงระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด โดยพิจารณาการให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่น ด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

Table 3. Sensory evaluation scores of jelly supplemented with rice bran protein

Jelly product supplemented with rice bran protein	Appearance	Color	Odor	Flavor	Texture	Overall acceptability
0 g	7.30±1.03 ^a	7.40±0.82 ^a	7.45±0.68 ^a	7.40±0.75 ^a	6.80±1.15 ^a	7.40±0.68 ^a
10 g	7.10±1.02 ^{ab}	6.90±0.85 ^b	6.75±0.96 ^b	6.30±1.52 ^b	6.40±1.35 ^{ab}	6.40±1.39 ^b
20 g	6.75±0.96 ^{bc}	6.60±0.94 ^{bc}	6.20±1.15 ^c	5.75±1.33 ^b	6.00±1.37 ^b	5.95±1.39 ^b
30 g	6.40±1.14 ^c	6.20±1.23 ^c	5.70±1.52 ^d	5.15±1.59 ^c	5.10±1.71 ^c	5.30±1.59 ^c

Note; Values are expressed as means ± standard deviation (n = 3). Means with different letters in the same column were significantly different at the level $p < 0.05$.

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่เติมผงโปรตีนจากรำข้าวในระดับควบคุม ไม่มีการเติมผงโปรตีนจากรำข้าว มีคะแนนความชอบมากที่สุดเนื่องจากเป็นสูตรทางการค้า เมื่อเทียบกับตัวผลิตภัณฑ์ที่มีการเติม 10 กรัม 20 กรัม 30 กรัม พบว่าสูตรที่มีการเติม 10 กรัม มีค่าคะแนนลักษณะปรากฏมากที่สุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.10 รองลงมาคือตัวอย่างเสริม 20 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.75 และมีค่าต่ำที่สุดคือตัวอย่างเสริม 30 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.40 คะแนนด้านสีมีค่าสูงที่สุดในตัวอย่างควบคุม มีคะแนนเท่ากับ 7.40 รองลงมาคือตัวอย่างเสริม 10 กรัม และตัวอย่างเสริม 20 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.90 และ 6.60 และมีค่าต่ำที่สุดในตัวอย่างเสริม 30 กรัม มีค่าเท่ากับ 6.20 คะแนนด้านกลิ่นมีค่าสูงที่สุดในตัวอย่างควบคุมมีคะแนนเท่ากับ 7.45 รองลงมาคือตัวอย่างเสริม 10 กรัม มีคะแนนเท่ากับ 6.75 และมีค่าต่ำสุดในตัวอย่างเสริม 30 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 5.70 คะแนนด้านกลิ่นรสมีค่าสูงที่สุดในตัวอย่างควบคุมมีคะแนนเท่ากับ 7.40 รองลงมาคือตัวอย่างเสริม 10 กรัม และตัวอย่างเสริม 20 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.30 และ 5.75 และมีค่าต่ำสุดในตัวอย่างเสริม 30 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 5.15 คะแนนด้านเนื้อสัมผัสมีค่าสูงที่สุดในตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างเสริม 10 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.80 และ 6.40 รองลงมาคือตัวอย่างเสริม 20 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.40 และ 6.00 และมีค่าต่ำสุดในตัวอย่างเสริม 30 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 5.10 คะแนนด้านความชอบโดยรวมมีค่าสูงที่สุดในตัวอย่างควบคุม มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.40 รองลงมาคือตัวอย่างเสริม 10 กรัม และตัวอย่างเสริม 20 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.40 และ 5.95 และค่าคะแนนต่ำสุดในตัวอย่างเสริม 30 กรัม มีค่าคะแนนเท่ากับ 5.30 พบว่าถ้ายิ่งเติมผงเสริมโปรตีนจากรำข้าวเพิ่มขึ้นทำให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสชอบน้อยลง เนื่องจากในตัวสารสกัดโปรตีนจากรำข้าวมีกลิ่นของรำข้าวที่ชัดเจนเกินกว่าที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจะยอมรับได้

4. อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าค่า a_w ค่อนข้างต่ำซึ่งยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (dehydrated food) ที่กำหนดไว้คือต้องมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียที่เกิดจาก รา ยีสต์ และแบคทีเรีย ความชื้นของตัวอย่างที่อยู่ในช่วงร้อยละ 8.19-10.83 โดยค่าความชื้นของผงโปรตีนจากรำข้าวสดมีค่าความชื้นต่ำที่สุด ร้อยละ 8.19 รองลงมาคือการสกัดรำข้าวที่ 8 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 8.98 และมีค่าความชื้นสูงที่สุดคือการสกัดรำข้าวที่ 24 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 10.83 ผลจากการศึกษาพบว่า ค่าความชื้นมีปริมาณค่อนข้างต่ำแต่ไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพข.๑๓๖/๒๕๕๘) ผลการวิเคราะห์ค่าสีของรำสดและผงโปรตีนจากรำข้าวที่ใช้เวลาในการสกัดที่แตกต่างกัน พบว่าค่าสีมีความสว่าง (L^*) ของรำสดและการสกัดรำข้าว มีค่าอยู่ในช่วง 27.95-56.13 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของรำสดและผงโปรตีนจากรำข้าว อยู่ในช่วง 4.67-9.97 ค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 8.65-32.32 เมื่อผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ระยะเวลาที่นานขึ้นค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง การสกัดรำข้าวด้วยเอนไซม์

เซลล์ูลีส ทำให้มีการเพิ่มขึ้นทั้ง ปริมาณโปรตีน และ สารประกอบฟีนอลิก ในผงโปรตีนจากรำข้าวอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนสามารถอธิบายได้จากกระบวนการ สลายโครงสร้างของเซลล์พืช โดยเอนไซม์เซลล์ูลีส ซึ่งมีหน้าที่ช่วยย่อยเซลล์ูลีสในผนังเซลล์ของรำข้าว การสกัดด้วยเอนไซม์เซลล์ูลีสช่วยให้โปรตีนในรำข้าวถูกสกัดออกมา จึงทำให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้น โดยการสกัดที่ 8 ชั่วโมง ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีปริมาณโปรตีนสูงสุดที่ร้อยละ 18.02 ซึ่งเป็นผลที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวสดหรือการสกัดในระยะเวลาที่นานขึ้น (16 และ 24 ชั่วโมง) การเพิ่มปริมาณโปรตีนนี้ทำให้ผงโปรตีนจากรำข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ต้องการโปรตีนสูงได้ ในส่วนของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพนั้นการแปรรูปสามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลิกในพืชได้ (Ratseewo et al., 2025) ผลการศึกษาพบว่า การสกัดด้วยเอนไซม์เซลล์ูลีสก็มีผลในการเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิกในผงโปรตีนจากรำข้าวเช่นกัน โดยการสกัดที่ 8 ชั่วโมง ให้ ปริมาณสารฟีนอลิกสูงสุดที่ 236.45 mg GAE/g ซึ่งสูงกว่าการสกัดในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น (16 และ 24 ชั่วโมง) และรำข้าวสดที่มีปริมาณฟีนอลิก 127.93 mg GAE/g การใช้เอนไซม์เพื่อไฮโดรไลเซพรำข้าวสามารถใช้ได้ทั้งกลุ่มโปรตีนและอะไมเลส ซึ่งพบว่าสามารถทำให้รำข้าวที่สกัดได้มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น (Chaijaroen. et al., 2015) การเพิ่มขึ้นของสารฟีนอลิกอาจเกิดจากการที่เอนไซม์เซลล์ูลีสช่วยปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในเซลล์ผนังของรำข้าว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการใช้เอนไซม์เซลล์ูลีสในการสกัดตัวอย่างแบล็คเคอร์แรนท์ พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งกลุ่มฟีนอลิกและแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นหลังการสกัด เนื่องจากการทำลายผนังเซลล์พืชที่เป็นกลุ่มเซลล์ูลีสถูกทำลายและปลดปล่อยสารอื่น ๆ ออกมา (Kapasakalidis et al. 2009) โดยการสกัดใช้ความร้อนร่วมด้วย เมื่อเวลานานขึ้นอาจทำให้ปริมาณโปรตีนและปริมาณฟีนอลิกถูกทำลายจนเสียสภาพเมื่อเวลาสกัดนานขึ้น

เมื่อนำผงโปรตีนจากรำข้าวที่เหมาะสมในการสกัดที่ 8 ชั่วโมง มาเติมในผลิตภัณฑ์วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร ซึ่งแบคทีเรียส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.90 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.70 ซึ่งวันจัดเป็นอาหารกึ่งแห้ง ควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.60-0.85 ผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์วันเสริมโปรตีนจากรำข้าว พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระ 0.96-0.99 ดังนั้นทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้เร็วกว่าปกติเล็กน้อย เนื่องจากแบคทีเรียและราส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดี และเพื่อช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ควรบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (Keawsa-ard et al., 2020) วันเสริมโปรตีนจากรำข้าวที่มีความชื้นสูงคือมีความชื้นร้อยละ 10-20 แต่มีความสัมผัสสมดุลไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบทำหน้าที่ยึดจับกับน้ำส่วนหนึ่งไว้ (Wirivutthikorn, 2000) ผลการศึกษาพบว่า การเสริมผงโปรตีนจากรำข้าว ลงในวันมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของผลิตภัณฑ์วันอย่างชัดเจน การเสริมผงโปรตีนจากรำข้าวในวันช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะในแง่ของการเพิ่มปริมาณโปรตีนและสารฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์วัน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์นี้เหมาะสมสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการเสริมโปรตีน เช่น ผู้ที่ออกกำลังกายหรือผู้ที่ต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง การเสริมผงโปรตีนจากรำข้าวในวันทำให้ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามระดับการเติมผงโปรตีน โดยผลิตภัณฑ์ที่เสริมผงโปรตีนในระดับ 30 กรัม มีปริมาณโปรตีนสูงสุดที่ร้อยละ 7.07 ซึ่งสูงกว่าสูตรควบคุม (ไม่มีการเติมผงโปรตีน) ที่มีโปรตีนเพียงร้อยละ 2.48 การเพิ่มโปรตีนในผลิตภัณฑ์วันทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการโปรตีนในผู้บริโภค โดยเฉพาะในกลุ่มที่ต้องการโปรตีนเสริมเพื่อการเสริมสร้างกล้ามเนื้อ หรือการฟื้นฟูร่างกายจากการออกกำลังกาย การเสริมผงโปรตีนจากรำข้าวช่วยเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์วัน โดยสูตรที่เติมผงโปรตีนจากรำข้าว 30 กรัม มี ปริมาณสารฟีนอลิกสูงสุดที่ 148.85 mg GAE/g ซึ่งมากกว่าสูตรที่ไม่มีการเติมผงโปรตีนที่มีค่า 51.89 mg GAE/g การเพิ่มสารฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์วันช่วยเสริมคุณสมบัติทางชีวภาพ โดยสารฟีนอลิกมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากโรคเรื้อรังและช่วยบำรุงสุขภาพโดยรวม ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า สูตรที่เติมผงโปรตีนจากรำข้าว 10 กรัม ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดจากผู้ทดสอบเมื่อเทียบกับสูตรที่เติมผงโปรตีนที่ระดับ 20 กรัมและ 30 กรัม การเพิ่มผงโปรตีนมากขึ้นทำให้ผู้ทดสอบชอบน้อยลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากกลิ่นและเนื้อสัมผัสของผงโปรตีนจากรำข้าว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่

ได้คะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคน้อยกว่าสูตรควบคุม

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสม สำหรับการแปรรูปข้าวเป็นผงโปรตีนจากรำข้าวคือ การสกัดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดที่ร้อยละ 18.02 และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่ 236.45 mg GAE/g จากการบ่มเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลการทดลองยังแสดงว่า ผงโปรตีนจากรำข้าวที่เติมในผลิตภัณฑ์ช่วยเพิ่มโปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณโปรตีนและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดพบในรุ่นที่เติมผงรำข้าวสกัด 30 กรัม (ร้อยละ 7.07 และ 148.85 mg GAE/g) รองลงมาคือสูตรที่เติม 20 กรัม (ร้อยละ 5.67 และ 106.32 mg GAE/g) สำหรับการผลิตวันเสริมโปรตีนจากรำข้าว พบว่าค่า water activity (a_w) ของรุ่นที่เสริมผงโปรตีนจากรำข้าวมีค่าระหว่าง 0.961-0.990 ซึ่งควรเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ผลการทดสอบด้านสีและรสชาติพบว่า คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสพบว่าค่าลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของวันสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมผงโปรตีนมีคะแนนสูงสุด รองลงมาเป็นสูตรที่เติมผงโปรตีนจากรำข้าว 10 กรัม และ 20 กรัม ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมคือวันเสริมโปรตีนจากรำข้าว 20 กรัม สามารถพิจารณาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับผู้บริโภคต่อไป งานวิจัยนี้ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าว โดยการพัฒนาเป็นผงโปรตีนที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์วันที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเสริมโปรตีน เช่น กลุ่มคนออกกำลังกายหรือผู้ที่ต้องการอาหารเพื่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ขยายตลาดในกลุ่มผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ผลิตภัณฑ์วันเสริมโปรตีนจากรำข้าวสามารถต่อยอดในเชิงพาณิชย์โดยการพัฒนาให้มีความหลากหลายในการใช้ประโยชน์ เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพสำหรับกลุ่มคนออกกำลังกาย หรือผู้ที่ต้องการเสริมโปรตีนในอาหารประจำวัน อีกทั้งยังสามารถขยายตลาดไปยังกลุ่มผู้บริโภคที่มีความต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านความรู้และด้านเครื่องมืออุปกรณ์ในการปฏิบัติการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Abdul-Hamid, A., & Luan, YS. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food chemistry*, 68(1), 15-19.
- Association of Official Analytical Chemists. (2000). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (Vol. 11). The Association.
- Butsat S., Weerapreeyakul N. & Siriamornpun S. (2009). Changes in phenolic acids and antioxidant activity in Thai Rice husk at five growth stages during grain development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(11), 4566–4571.
- Chaijaroen T. (2015) Functional and biological properties of enzymatic hydrolysate from defatted rice bran by using partial purified Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Viscera extract. Dissertation. Songkla; Prince of Songkla University.
- Gadalkar, SM., Gogate, PR., & Rathod, VK. (2017). Recovery of proteins from rice mill industry waste (rice bran) using alkaline or NaCl-assisted alkaline extraction processes. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12430.
- Houston, DF. (1972). Rice bran and polish. *Rice: Chemistry and Technology*, 272-300.
- Jiamyangyuen, S., Srijesdaruk, V., & Harper, WJ. (2005). Extraction of rice bran protein concentrate and its application in bread. *Extraction*, 27(1), 56.

- Kubota, M., Saito, Y., Masumura, T., Kumagai, T., Watanabe, R., Fujimura, S., & Kadowaki, M. (2010). Improvement in the in vivo digestibility of rice protein by alkali extraction is due to structural changes in prolamin/protein body-I particle. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 74(3), 614-619.
- Kapasakalidis, PG., Rastall, RA., & Gordon, MH. (2009). Effect of a cellulase treatment on extraction of antioxidant phenols from black currant (*Ribes nigrum* L.) pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), 4342-4351.
- Keawsa-ard, S., Chuanphonpanich, S. & Daducale, A. (2020). Development of Gummy Jelly from *Mesua ferrea* Linn. Flower Extract. *Thai Science and Technology Journal*, 28, 2185-2200. (in Thai)
- Patindol, J., Wang, L., & Wang, YJ. (2007). Cellulase-assisted extraction of oligosaccharides from defatted rice bran. *Journal of food science*, 72(9), C516-C521.
- Phaungseang, A. & Rattanakon, S. (2021). Extraction of Rice Bran Bioactive Compounds Using Hydrothermal Treatment with Ultrasonic-assisted Extraction [Online]. Retrieved November 15, 2024, from: <https://app.gs.kku.ac.th/gs/th/publicationfile/item/21th-ngrc-2020/BMO6/BMO6.pdf>. Accessed November 15, 2024. (in Thai)
- Ramlee, KAFK., Daud, NMN., Sarip, MSM., Bakar, ARA., & Zainudin, MAM. (2024). A Three Level Factorial Model for Maximising Protein Extraction from Rice Bran with Choline Chloride: Glycerol. *Journal of Advanced Research in Micro and Nano Engineering*, 19(1), 63-77.
- Ratseewo, J., Chumroenphat, T., Li, H., & Siriamornpun, S. (2025). Changes in chemical composition, volatile compound, and bioactive compounds retention in shallots (*Allium ascalonicum* L.) under different drying methods. *Food Chemistry: X*, 27, 102419.
- Saunders, RM. (1990). The properties of rice bran as a foodstuff. *Cereal Foods World*, 35(7), 634-636.
- Sittisart, P., Gasaluck, P., Dunkhunthod, B., Mahidsanan, T., Pinyo, J., Teethaisong, Y., & Sittisart, P. (2024). Mode of action of biosurfactant against *Listeria monocytogenes* and its cytotoxicity as an alternative for washing fresh Chinese kale. *Food Bioscience*, 61, 104583.
- Srisan, S., Subsri, P., Chimpali, K. & Ratseewo, J. 2023. Effect of Steaming Method on Chemical, Physical Properties and Total Phenolic Content of Lava Durian Sisaket Peel Powder. *Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University*. 3(1), 68-76. (in Thai)
- Wachirasiri, K., Wanlapa, S., Meeploy, M., Sitthisomang, D. & Subkaree, Y. (2021). The Effects of Rice Bran and Alcalase Contents on Degree of Hydrolysis, Yield and Free Radical Scavenging Activities of Peptide Hydrolysates from Defatted Rice Bran. *KMUTT Research & Development Journal*, 44(3), 427-442. (in Thai)
- Wirivutthikorn, W. (2020). Appropriate Ratios of Gelatin on Pineapple Juice Gummy Production Supplemented with Gac Fruit. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 38(3), 400 – 407. (in Thai)