



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกเสริมโปรตีนข้าว
ไฮโดรไลเสตด้วยการทำแห้งแบบโฟมแมท

Development of Snack from Germinated Riceberry Rice Enriched with
Rice Protein Hydrolysate using Foam-mat Drying

โดย

อาจารย์ ดร. พิษญา โพธิ์นุช

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สนับสนุนโดย

สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

2567

ชื่อเรื่อง : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกเสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต
ด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท

ผู้วิจัย : อาจารย์ ดร. พิษญา โพธิ์นุช

สถาบัน : คณะเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีที่พิมพ์ : 2568

สถานที่พิมพ์ : มหาวิทยาลัยรังสิต

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยรังสิต

จำนวนหน้า : 76 หน้า

คำสำคัญ : ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเพาะงอก โปรตีนข้าว ขนมขบเคี้ยว การทำแห้งแบบโฟม-แมท

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกเสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมท (foam-mat drying) โดยศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ (1:1 2:3 และ 1:2) และปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต (2.5-8%) ที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทั้งด้านกายภาพ (ขนาด สี เนื้อสัมผัส) ทางเคมี (a_w ความชื้น โปรตีน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH) และทางประสาทสัมผัส (ความชอบและระดับความกรอบ) ผลการทดลอง พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่ำ (1:2) ขณะที่โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตสูงจะทำให้การขยายตัวลดลง อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำต่ำร่วมกับปริมาณโปรตีนสูงทำให้สีสว่างขึ้น (ค่า L^* และ b^* สูงขึ้น แต่ค่า a^* ลดลง) ความกรอบ ความเปรี้ยว และความแข็งของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีน สำหรับคุณภาพทางเคมี ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำต่ำและโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตต่ำมีค่า a_w และความชื้นสูงขึ้น ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่เพิ่ม ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดขึ้นกับผลจากอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำเท่านั้น ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า สูตรที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 2:3 ร่วมกับโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 5 ได้รับคะแนนความชอบในระดับดีร่วมกับมีปริมาณโปรตีนสูง จึงเลือกสูตรนี้มาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบวิธีอบแห้งแบบเตาอบและอบแห้งแบบถาด จากการทดลองพบว่า ขนาด สี ความแข็ง ความกรอบ ความเปรี้ยว a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งทั้งสองสถานะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยเครื่องทำ

แห้งแบบถาดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยเตาอบ นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจากทั้งสองได้รับคะแนนความชอบและระดับความกรอบที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงเลือกใช้วิธีการอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดในกระบวนการผลิต เพราะยังช่วยเพิ่มกำลังการผลิตได้ด้วย ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อโคลิฟอร์มของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมกรอบจากธัญชาติ (มอก. 1534-2541) จากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต จำนวน 120 คน พบว่าผู้บริโภค 98.3% ให้การยอมรับและต้องการซื้อผลิตภัณฑ์สูงถึง 90% ดังนั้นผลการทดลองนี้น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโปรตีน ไขมันต่ำ และไม่มีคอเลสเตอรอล นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตรได้



Title : Development of Snack from Germinated Riceberry Supplemented with Rice Protein Hydrolysate Using Foam-mat Drying

Researcher : Dr. Pitchaya Pothinuch

Institution : Faculty of Food Technology, Rangsit University

Year of Publication : 2024

Publisher : Rangsit University

Source : Rangsit University

No. of pages : 76 pages

Key words : Riceberry rice, Germinated Rice, Rice protein, Snack, Foam-mat drying

Copyrights : Rangsit University

Abstract

This study aimed to develop a snack from germinated riceberry rice enriched with rice protein hydrolysate using foam-mat drying. The effects of rice-to-water ratios (1:1, 2:3 and 1:2) and rice protein hydrolysate levels (2.5-8%) were investigated on the snack's physical properties (size, color, texture), chemical compositions (a_w , moisture, protein, total phenolic, anthocyanin contents, and DPPH antioxidant activity), and sensory attributes (preference and crispiness level). The results demonstrated that product diameter increased as rice-to-water ratios decreased, while higher levels of protein hydrolysate led to reduced expansion. A lower rice-to-water ratio combined with elevated rice protein hydrolysate content resulted in a brighter color, indicated by higher L^* and b^* values and a lower a^* value. Additionally, this combination between rice-to-water ratio and rice protein hydrolysate content enhanced the product's crispiness, brittleness, and hardness. The results showed that there were no significant differences in size, color, hardness, crispiness, brittleness, a_w , moisture content, and protein content between the products dried in an oven and those dried using a tray dryer. However, the products dried with the tray dryer had higher total phenolic compounds and DPPH antioxidant activity compared to those dried in the oven. Both drying methods yielded comparable scores for sensory attributes, including preference and crispiness scores. Consequently, the tray drying method was selected

for the production process due to its potential to enhance production capacity. The total microbial count and coliform levels in the products obtained from the production process were within the permissible limits as Thai Industrial Standard for Cereal-Based Crisp Snacks (TIS 1534-1998). According to a survey on consumer acceptance of the germinated riceberry rice snack enriched with rice protein hydrolysate, conducted among 120 participants, 98.3% of the respondents accepted the product, and 90% expressing a willingness to purchase it. Thus, the findings suggest that this approach can serve as an alternative for producing healthy snacks, as the resulting products are high in protein, low in fat, and cholesterol-free. Additionally, it provides an opportunity to enhance the value of agricultural raw materials.



กิตติกรรมประกาศ

รายงานสมบูรณฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีเนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์ รองศาสตราจารย์ ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความเอาใจใส่ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิ่งกมล สีสัจจาวรณ อาจารย์ ดร. ญัฐพงษ์ ปรีชาพันธ์ และ อาจารย์ฐานวีร์ ลอยแก้ว ผู้ร่วมวิจัย ที่เป็นส่วนสนับสนุนและให้คำปรึกษาต่าง ๆ ตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ นางสาวเหมือนฝัน เชียงกา ผู้ช่วยวิจัย ที่พร้อมช่วยเหลือในส่วนของการดำเนินงานวิจัยให้เป็นไปได้อย่างราบรื่น ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางเคมี วิทยาลัยนวัตกรรมเกษตรและเทคโนโลยีอาหาร และโรงงานต้นแบบผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยรังสิต และนักศึกษาทุกคนที่ได้มีส่วนร่วมและทำให้การดำเนินงานในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวที่ให้อำนาจและเป็นที่ปรึกษาตลอดมา

พิชญา โพธิ์นุช
หัวหน้าโครงการ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 คำถามการวิจัย / สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	13
3.1 วัสดุดิบ	13
3.2 สารเคมี	13
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ	14
3.4 วิธีการ	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง	18
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	45
สรุป	45
ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	50
ภาคผนวก ข กระบวนการผลิต	56
ภาคผนวก ค แบบสอบถาม	60
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Texture Profile Analysis)	68

สารบัญ (ต่อ)

ประวัติผู้วิจัย

หน้า

74



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ขนาดของแผ่นขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน	20
4.2	ค่าสีระบบ CIE L* a* b*ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน	22
4.3	ค่าการวัดเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน	23
4.4	ค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน	24
4.5	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน	26
4.6	ระดับความกรอบของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน	27
4.7	ความชอบของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน	28
4.8	ขนาดของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน	29
4.9	ค่าสีระบบ CIE L* a* b*ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน	30

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10	ค่าการวัดเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน
4.11	ค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน
4.12	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน
4.13	ระดับความกรอบของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน
4.14	ความชอบของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน
4.15	คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต
4.16	ผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต
4.17	ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
4.18	การยอมรับด้านคะแนนความชอบของผู้ตอบแบบสอบถามต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต
4.19	การยอมรับด้านความพอดีของผู้ตอบแบบสอบถามต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต
4.20	การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.21	ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต	43
4.22	ราคาต่อซองที่สนใจซื้อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต ขนาด 15 กรัม ของผู้ตอบแบบสอบถาม	44
4.23	สถานที่ที่เหมาะสมในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตของผู้ตอบแบบสอบถาม	44



สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่		
4.1	ลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต	19
4.2	ลักษณะของข้าวเปลือกไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการเพาะงอกเป็นเวลา 2 วัน (ก) 3 วัน (ข) และ 4 วัน (ค)	28
4.3	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต	31
4.4	ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต	32
4.5	ข้อมูลโภชนาการ (a) และฉลาก GDA (b) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต	34
4.6	ฉลากอาหารด้านหน้า (a) และด้านหลัง (b) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต	35
4.7	บรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต	36
ภาพผนวกที่		
ข1	วัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต	55
ข2	ขั้นตอนการบั่นผสมวัตถุดิบและกรองผ่านตะแกรงเพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส	55
ข3	ขั้นตอนการตีส่วนผสมและตีอากาศให้เกิดลักษณะโฟมก่อนนำไปอบแห้ง	55
ข4	ขั้นตอนการขึ้นรูปส่วนผสมโดยใช้พิมพ์รูปวงกลม	56
ข5	ขั้นตอนการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้เตาอบไฟฟ้า	56
ข6	ขั้นตอนการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด	56
ข7	ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้ง	57
ข8	ขั้นตอนการคลุกผงปรุงรสให้กับผลิตภัณฑ์	57
ข9	ขั้นตอนอบไล่ความชื้นหลังการคลุกผงปรุงรส	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง1 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:1 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 2.5	69
ง2 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:1 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 5	69
ง3 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:1 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 8	70
ง4 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 2:3 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 2.5	70
ง5 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 2:3 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 5	71
ง6 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 2:3 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 8	71
ง7 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 2.5	72
ง8 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 5	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ง9	Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 8	73
----	--	----



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขนมขบเคี้ยวจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปที่นิยมรับประทานเป็นอาหารว่างเพื่อระงับความหิวระหว่างมื้อ ส่วนใหญ่มักจะมีแป้ง น้ำตาล และไขมันเป็นหลัก มีโปรตีนในปริมาณน้อย และมีการปรุงแต่งรส กลิ่น และสีให้ตรงตามความต้องการ ดังนั้นหากรับประทานขนมขบเคี้ยวในปริมาณมากก็จะทำให้ร่างกายได้รับพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันมากเกินไป โดยพฤติกรรมของผู้บริโภคขนมขบเคี้ยวมักจะไม่มีความพิถีพิถันในการบริโภคไม่จำกัดปริมาณ และบริโภคไม่เป็นเวลา หากไม่เลือกรับประทานขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ก็จะทำให้เกิดปัญหาทางด้านโภชนาการที่มีผลเสียต่อสุขภาพ เช่น ภาวะโรคอ้วน โรคความดันเลือดสูง โรคเบาหวาน เป็นต้น ได้

ข้อมูลในปี พ.ศ. 2565 พบว่า ตลาดของขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีการขยายตัวจากปีก่อนร้อยละ 5.1 และมีมูลค่าสูงถึง 43,948 ล้านบาท เนื่องมาจากการฟื้นตัวจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด 19 ที่คลี่คลายลง ส่วนแบ่งการตลาดของขนมขบเคี้ยวประเภทต่าง ๆ ในประเทศไทย ยังพบว่า ขนมขบเคี้ยวรสเค็ม ได้แก่ กลุ่มมันฝรั่งทอดชนิดแผ่น แผ่นข้าวโพด ข้าวสาลีอบหรือทอดกรอบ ขนมชนิดอบพองและขนมที่ทำจากข้าวมีมูลค่าอยู่ที่ 24,548 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 55.9 (ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2566) อย่างไรก็ตาม ตลาดขนมขบเคี้ยวมีการแข่งขันค่อนข้างสูง ทำให้ผู้ผลิตต้องพยายามปรับตัวเพื่อให้สอดคล้องกับกระแสอาหารเพื่อสุขภาพในปัจจุบัน และอนาคต เนื่องจากผู้บริโภคเริ่มเลือกบริโภคขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการเลือกวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และกรรมวิธีการผลิตที่ช่วยคงคุณค่าของผลิตภัณฑ์ในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจึงมีความจำเป็นอย่างมาก

ทางคณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาการบริโภคขนมขบเคี้ยวในปัจจุบัน จึงมีความต้องการที่จะพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ โดยได้เลือกข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการเพาะงอกเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากข้าวมาเป็นวัตถุดิบหลัก ร่วมกับการใช้กระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมทซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง ช่วยลดเวลาในการผลิตได้ และยังเป็นกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้จะอุดมไปด้วยคุณประโยชน์จากข้าวสีซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะแอนโทไซยานิน รวมทั้งเป็นแหล่งของ

โปรตีน วิตามิน และเกลือแร่ มีไขมันและแคลอรีต่ำ และไม่มีโคเลสเตอรอล ดังนั้นขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกเสริมโปรตีนข้าวจึงน่าจะเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัยที่ชื่นชอบรับประทานขนมขบเคี้ยว โดยเฉพาะวัยรุ่นและวัยทำงาน และยังให้ประโยชน์ด้านเศรษฐกิจ การเกษตรในการช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวไทยได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์รวม

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกเสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบโฟม-แมท

1.2.2 วัตถุประสงค์ย่อย

- 1) เพื่อศึกษาผลอัตราส่วนข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
- 2) เพื่อศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
- 3) เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกเสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

1.3 คำถามการวิจัย/สมมติฐานการวิจัย

- 1) เทคนิคการทำแห้งแบบโฟม-แมทสามารถใช้ผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกเสริมโปรตีนข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่
- 2) อัตราส่วนของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส (ความชอบและระดับความกรอบ) ของผลิตภัณฑ์อย่างไร
- 3) สภาวะการอบแห้งที่ต่างกันมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส (ความชอบและระดับความกรอบ) ของผลิตภัณฑ์อย่างไร

4) ผลผลิตพันธุ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรเลตได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับดี หรือมีศักยภาพในการพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์หรือไม่

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ ประกอบด้วย การดำเนินงาน 3 ส่วน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบโฟม-แมทในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งประกอบด้วย

1) การศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ต้องการศึกษา คือ 1:1 2:3 และ 1:2 ร่วมกับปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต คือ ร้อยละ 2.5 5 และ 8 จากนั้นตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านกายภาพ (ขนาด สี และลักษณะเนื้อสัมผัส) ด้านเคมี (ความชื้น a_w โปรตีน และสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH) และด้านประสาทสัมผัสโดยทดสอบระดับความกรอบและความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

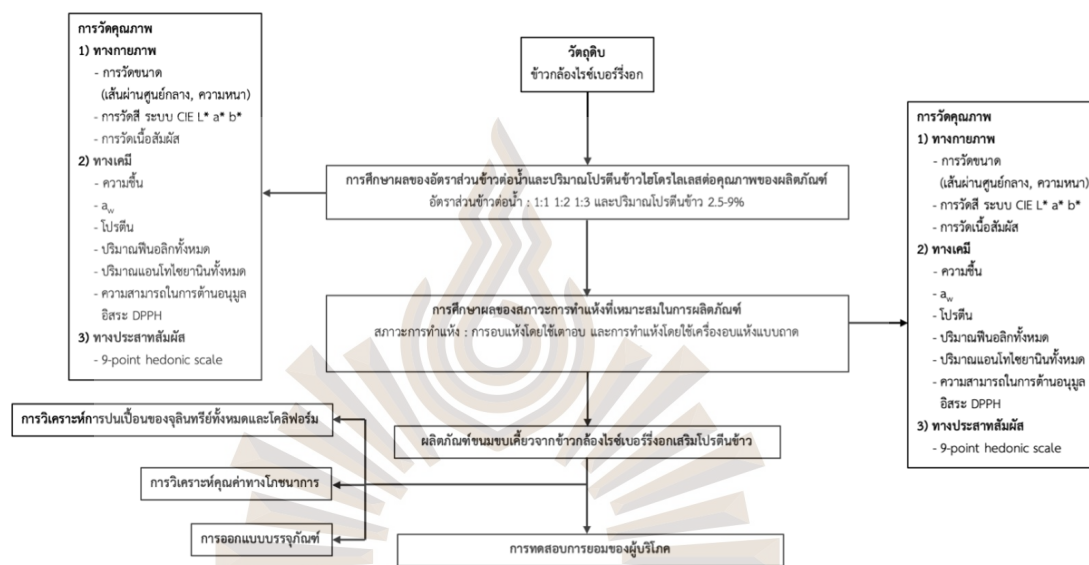
2) การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเปรียบเทียบ 2 สภาวะ คือ การอบแห้งโดยใช้เตาอบ และการอบแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด จากนั้นตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านกายภาพ (ขนาด สี และลักษณะเนื้อสัมผัส) ด้านเคมี (ความชื้น a_w โปรตีน และสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH) และด้านประสาทสัมผัสโดยทดสอบระดับความกรอบและความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

ส่วนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

- 1) การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ 15 รายการ เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการฉบับเต็ม
- 2) การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณเชื้อโคลิฟอร์ม เพื่อตรวจสอบคุณภาพด้านจุลินทรีย์
- 3) การออกแบบบรรจุภัณฑ์ เพื่อเตรียมความพร้อมในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ส่วนที่ 3 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค เพราะเป็นส่วนหนึ่งในการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เป็นแนวทางและประเมินศักยภาพในเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์

1.5 กรอบแนวคิดวิจัย



1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่มีโปรตีนข้าวและสารต้านอนุมูลอิสระ มีไขมันต่ำ และไม่มีโคเลสเตอรอล เป็นต้น เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะวัยรุ่นและวัยทำงานที่ชอบทานขนมขบเคี้ยว
- 2) เพิ่มความหลากหลายและเพิ่มทางเลือกของขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพในตลาดขนมขบเคี้ยว
- 3) ทราบผลของปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ และสภาวะการทำแห้งในการผลิตโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบโพร-แมทเพื่อผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีลักษณะกรอบ และสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาที่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวชนิดอื่น ๆ ได้
- 4) สามารถได้ผลสภาวะที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ และสภาวะการทำแห้งสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวสำหรับเผยแพร่ในวงการวิชาการในรูปแบบวารสารและอนุสิทธิบัตร
- 5) สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวไทยและส่งเสริมให้เกษตรกรผู้เพาะปลูกมีรายได้เพิ่มขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำแห้งแบบโฟม-แมท

การทำแห้งแบบโฟม-แมท หรือ foam-mat drying เป็นกระบวนการทำแห้งอาหารที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (liquid-solid food) โดยมีการเติมสารก่อโฟม (foaming Agent) และสารเพิ่มความคงตัว (stabilizing agent) เพื่อให้เกิดโฟมที่มีความคงตัว จากนั้นนำไปเกลี่ยบนถาดและนำไปทำแห้งด้วยลมร้อนภายใต้อุณหภูมิ 50-90 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์หลังทำแห้งจะถูกบดเป็นผงละเอียด (Kandasamy et al., 2014a, 2014b; Febrianto et al., 2012) การเกิดฟองอากาศขนาดเล็กจะกระจายตัวในกระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมท จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการเคลื่อนที่และการระเหยของน้ำ ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาสั้นลงและใช้อุณหภูมิไม่สูง สิ่งที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือความคงตัวของโฟมตลอดระยะเวลาในระหว่างกระบวนการทำแห้ง ถ้าหากเกิดการยุบตัวของโฟมระหว่างการทำแห้ง จะทำให้อัตราการทำแห้งลดลงและส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย อาหารที่มีโปรตีนหรือโมโนกลีเซอไรต์โดยธรรมชาติจะสามารถทำให้เกิดโฟมได้ แต่โฟมที่เกิดขึ้นอาจจะมีมีความคงตัวต่ำไม่สามารถคงอยู่ตลอดการทำแห้งได้ สำหรับอาหารที่ไม่มีโปรตีน จำเป็นต้องมีการใช้สารที่ช่วยให้เกิดโฟม และสารให้ความคงตัวของโฟม ซึ่งที่นิยมใช้คือ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glycerol monostearate; GMS) โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสต และโปรตีนไข่ขาว

กระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมท มีความเหมาะสมกับวัตถุดิบหลายชนิดโดยเฉพาะวัตถุดิบที่มีความไวต่อความร้อน หรือมีลักษณะที่มีความหนืดและความเหนียวหรือมีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น น้ำผลไม้หรือเนื้อผลไม้เข้มข้น (puree) (Labella, 1984) ดังนั้นการทำแห้งแบบโฟม-แมทจะช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้งของอาหารลงได้ ส่งผลดีกับสีของตัวผลิตภัณฑ์ เมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ สามารถลดการเกิดขอบแข็ง (case hardening) ซึ่งขอบแข็งที่เกิดขึ้นจะไปขัดขวางการระเหยทำให้อัตราการทำแห้งลดลง การทำแห้งในรูปแบบนี้เป็นวิธีที่ง่ายถ้าเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบเยือกแข็งและการทำแห้งแบบพ่นฝอย นอกจากนี้กระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมท เป็นวิธีที่มีขั้นตอนไม่ยุ่งยากและราคาไม่

แพง โดยกระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมทสามารถนำไปใช้ในการทำแห้งน้ำผลไม้ แยม นม และ เครื่องดื่ม

2.1.1 การเกิดโฟม

โฟมเป็นระบบที่มีสองวัฏภาคคือ วัฏภาคกระจายตัว (dispersed phase) และวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) โดยทั้งสองวัฏภาคจะถูกแบ่งด้วยชั้นฟิล์มบาง เรียกว่า lamellar phase หรือ ผนังของฟองอากาศ สำหรับในกรณีอาหารและเครื่องดื่ม โฟมเป็นระบบที่มีความซับซ้อนเกิดจาก ของเหลว แก๊ส ของแข็งและสารลดแรงตึงผิว โฟมมีลักษณะเป็นฟองอากาศที่มีขอบล้อมรอบ ลักษณะ ของโฟมขึ้นกับจำนวน ขนาดและการกระจายตัวของฟองอากาศ การเกิดโฟมขนาดเล็กมีการกระจาย ตัวสม่ำเสมอทำให้ได้โฟมที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม โดยปกติโฟมที่เกิดตามธรรมชาติจะไม่คงตัวเพราะแรงตึง ผิวจะต้านแรงสำหรับการคงรูปส่งผลทำให้โครงสร้างโฟมแตก โปรตีนและสารลดแรงตึงผิวเป็นปัจจัยที่ มีผลต่อลักษณะของโฟมและความคงตัวของโฟม สารลดแรงตึงผิวจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วไปยังขอบ บาง ๆ ของผนังฟองอากาศ (lamella) ขณะที่โปรตีนจะจับกับอินเทอร์เฟส (interface) ระหว่างวัฏ ภาคทั้งสองด้วยแรง electrostatic แรง hydrophobic พันธะไฮโดรเจนหรือพันธะโควาเลนต์ ลักษณะ เช่นนี้ทำให้เกิดความยืดหยุ่นของฟิล์มซึ่งจะทนต่อแรงตึงผิวได้ และทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรง และ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดโฟม ได้แก่ คุณสมบัติของเหลวที่จะนำมาทำให้เกิดฟอง วิธีการทำให้เกิดโฟม และสภาวะในการเกิดโฟม (Hardy and Jideani, 2017)

2.1.2 ความคงตัวของโฟม

ความไม่คงตัวของโฟมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ unstable foam หรือ transient foam มีช่วงการเกิดโฟมเพียงวินาที และ metastable foam หรือ permanent foam มีช่วงการเกิด โฟมเป็นชั่วโมงหรือเป็นวัน การสลายตัวของโฟมเกิดขึ้นเพราะการรวมตัวของฟองอากาศ 2 อัน ทำให้ เกิดการฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยขั้นตอนในการเกิดสลายตัว มี 3 ขั้นตอน คือ 1) การฟองอากาศ และเกิดฟิล์มบาง 2) Film drainage และ 3) Film rupture อย่างไรก็ตามเป็นการยากมากที่จะทำให้ ฟิล์มมีความคงตัวในน้ำบริสุทธิ์ จึงจำเป็นต้องใส่สารลดแรงตึงผิวที่จะช่วยให้โฟมมีความคงตัวมากขึ้น

(Rio et al, 2013) และอย่างไรก็ตามผลของกระบวนการผลิต เช่น ความเร็วในการผสม ประเภทของโปรตีน อุณหภูมิ และอัตราไหลของสารละลายโปรตีนและลักษณะการผสมก็จะมีผลต่อความคงตัวของโฟม (Indrawati et al., 2008)

2.1.3 สารก่อโฟมที่นิยมใช้ในการค้า

เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสบริสุทธิ์ ประกอบด้วยเซลลูโลสมากกว่า 99 % และเกิดจากการทำปฏิกิริยาของเซลลูโลสและเมทิลคลอไรด์ (methyl chloride) สารชนิดนี้จะนิยมใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารและมีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร (Manthey and Xu, 2009) เมทิลเซลลูโลสเป็นโมเลกุลแบบนอนไอออนิก (nonionic molecule) คือไม่มีประจุ ดังนั้นความกระต้างของน้ำในระบบจึงไม่มีผล อุณหภูมิและค่า pH ไม่มีผลต่อการจับโมเลกุลของน้ำของผงเซลลูโลส นอกจากนี้ยังพบว่ามีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ด้วยเพราะโครงสร้างมีกลุ่ม hydrophilic และ hydrophobic จึงมีหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความคงตัวในระบบอาหารที่มีไขมันต่ำและอาหารที่ไม่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในอาหารทอดเพื่อลดการอมน้ำมัน (oil absorption) และในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้มีการใช้เมทิลเซลลูโลส เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเก็บอากาศ (gas retention) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดี นอกจากนี้เมทิลเซลลูโลสยังเพิ่มช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลได้อีกด้วย (Manthey and Xu, 2009; Hardy and Jideani, 2017)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose) หรือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในพืชทั่วไป ซึ่งเชื่อมต่อการเชื่อมโยงพันธะไกลโคซิดิก β -1,4 ผลิตได้โดยการแปรรูปเซลลูโลสด้วยแอลกอฮอล์และน้ำต่าง สามารถใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการนำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมาใช้ในปี 1945 เริ่มมีการนำมาใช้เป็นสารคงตัวในผลิตภัณฑ์นม เป็นสารเพิ่มเนื้อสัมผัสนุ่มนวลในไอศกรีม และยังใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบเพื่อไม่ให้แตกง่าย ยังช่วยให้ขนมมีปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยคุณสมบัติทางกายภาพจะมีลักษณะ เป็นสีขาวอมเหลือง เป็นผงหรือเม็ดแล้วแต่การผลิต สามารถละลายน้ำได้ดี คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นสารที่ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น ไม่มีความเป็นพิษ ค่า pH ที่คงตัวอยู่ระหว่าง 7.0-9.0 โดยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสส่วนใหญ่ใช้ในอาหาร ได้แก่ เค้ก บิสกิต ผลิตภัณฑ์

ผสมของพาสต้าอบ สารปรุงแต่งสำหรับอบ ซุปปรุงที่ประกอบด้วยครีม เครื่องปรุงรส ซอส ซอฟต์ชีส ชนมอบที่ทำจากแป้ง หนูลาม ครีม โยเกิร์ต พุดดิ้ง เยลลี่ผลไม้และ แยม โดยที่สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสขึ้นกับตัวแปรต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น เซลลูโลส (cellulose) โดยที่ค่า degree of polymerization มีค่าสูงก็จะทำให้สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความหนืดสูงตามไปด้วย และมีคุณสมบัติที่จะเป็นแผ่นฟิล์ม ความเข้มข้น (concentration) เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นไปด้วย อุณหภูมิ (temperature) การให้ความร้อนแก่สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะมีผลทำให้ความหนืดลดลง และลดความร้อนลงก็จะมีผลทำให้ความหนืดกลับมาเท่าเดิม แต่ถ้าเพิ่มความร้อนที่มีความเป็นต่างจะทำให้ความหนืดลดลงอย่างถาวร ค่า pH คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นเกลือของกรดอ่อน การเพิ่มกรดแก่ (เพิ่มค่า pH) จะทำให้เกิดการตกตะกอนของกรดอิสระ (free CMC acid) ซึ่งไม่ละลายน้ำ ที่ค่า pH เท่ากับ 7 ความหนืดของสารละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะมีค่าสูงที่สุด การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่า pH จะมีผลทำให้ความหนืดมีค่าลดลง

2.2 ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่

ข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยเนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ ข้าวไทยมีหลากหลายสายพันธุ์ด้วยกันที่เกิดจากการพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อให้ข้าวมีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศและทนทานต่อโรค นอกจากนี้การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวยังมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้าวให้มีคุณค่าทางโภชนาการมากยิ่งขึ้น สายพันธุ์ข้าวไทยชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักกันดีในปัจจุบัน คือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์ โดยการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล (พันธุ์พ่อ) ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และข้าวขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์แม่) จากสถาบันวิจัยข้าว เริ่มทำการผสมพันธุ์ตั้งแต่ปี 2545 โดย รศ.ดร. อภิชาติ วรณวิจิตรและทีมวิจัยจากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ลักษณะของข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือ เป็นข้าวเจ้าที่มีสีม่วงเข้มจนดำจึงเป็นที่มาของการใช้ชื่อ ไรซ์เบอร์รี่ เมล็ดเรียวยาว มีสารต้านอนุมูลอิสระและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ให้ผลผลิตต่อไร่ ประมาณ 300-500 กิโลกรัม การเพาะปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถทำการปลูกได้ทุกพื้นที่ ปลูกได้ตลอดทั้งปี การเพาะปลูกในช่วงฤดูการทำนาปีจะทำให้ได้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีคุณภาพดีเพราะเป็นช่วงที่มีภูมิอากาศเหมาะสมกับการเพาะปลูกมากที่สุด

2.2.1 โครงสร้างของข้าว

ข้าวหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เมล็ดข้าว ในทางพฤกษศาสตร์ คือ ผล (fruit) มีลักษณะเป็นผลเดี่ยวที่เกิดจากรังไข่อันเดียวของดอกเดี่ยวในแต่ละดอกย่อยและรวมกันอยู่ในช่อดอก เมล็ดข้าวประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว (hull) หรือแกลบ และ 2) ส่วนของเนื้อผลหรือผลแท้ (true fruit) ส่วนที่นำมารับประทานคือส่วนของเนื้อผล ซึ่งประกอบด้วย 1) เยื่อหุ้มผล มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวมีสีต่างๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง ม่วงและน้ำตาลดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังประกอบด้วยโปรตีนเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส 2) เยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้นรูปยาวเรียงตามขวางและมีผนังกันบาง ภายในประกอบด้วยไขมันและสารสี 3) นิวเคลลัส (nucellus) เป็นเซลล์ที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด ไม่ติดแน่นจึงแยกออกจากกันได้ และ 4) เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone) ซึ่งประกอบด้วยคัพภะ (germ) และเนื้อเมล็ด (endosperm) คัพภะหรือเชื้อชีวิตอยู่บริเวณโคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ มีส่วนของรากอ่อน (radical) ต้นอ่อน (plumule) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อนจึงเป็นแหล่งของโปรตีนและไขมัน ส่วนเนื้อเมล็ดหรือเนื้อขาวซึ่งเป็นส่วนที่มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว เป็นแหล่งของสตาร์ชซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตแต่ก็ยังพบว่ามีโปรตีนลักษณะกลมใหญ่แทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ชด้วย (อรอนงค์, 2550)

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

สายพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยวและกระบวนการแปรรูปมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวทำให้มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสารอาหารหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใย ใยหยาบ เถ้าและคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ข้าวยังเป็นแหล่งของวิตามิน แร่ธาตุ และกรดอะมิโน วิตามินที่พบในข้าว ได้แก่ ไทอะมีน (0.02-0.61 มิลลิกรัม) ไรโบฟลาวิน (0.02-0.14 มิลลิกรัม) ไนอะซิน (1.3-5.3 มิลลิกรัม) แอลฟา-โทโคเฟอรอล (0.075-2.50 มิลลิกรัม) ส่วนเกลือแร่ที่พบในข้าว ได้แก่ แคลเซียม (10-50 มิลลิกรัม) ฟอสฟอรัส (0.08-0.43 กรัม) โพแทสเซียม (0.02-0.27 กรัม) เหล็ก (0.2-5.2 มิลลิกรัม) และสังกะสี (0.2-5.2 มิลลิกรัม) (Juliano, 1993) ส่วนต่าง ๆ ของข้าวมีปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกันเช่นกัน โดยรำข้าวมีปริมาณสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้าและเส้นใยอาหารมากกว่าข้าวกล้องและข้าวขาว ตามลำดับ และรำข้าวยังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าข้าวเป็นวัตถุดิบที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ (อรอนงค์, 2550) ข้าวยังเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (phenolic

compounds) ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังพบแกมมา-โอไรซานอล (gamma-oryzanol) แกมมา-อะมิโนบิวทริก แอซิด (gamma-aminobutyric acid หรือ GABA) เมลาโทนิน (melatonin) และซีโรโทนิน (serotonin) ในข้าวซึ่งสารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติเป็นสารสื่อประสาท มีผลต่อการทำงานของระบบสมองและประสาทส่วนกลาง (Kang et al., 2007; Vanhoutte, 2013; Cornejo et al., 2015; Setyaningsih et. al., 2015)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณอะไมโลส เท่ากับ 15.6% และมีอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) น้อยกว่า 70 องศาเซลเซียส (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2561) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ประกอบด้วย เหล็ก (13-18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สังกะสี (31.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โอเมกา-3 (25.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) วิตามินอี (678 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม) โฟเลต (48.1 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม) เบต้า-แคโรทีน (63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) โพลีฟีนอล (113.5 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม) แทนนิน (89.33 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) แกมมา-โอไรซานอล (462 ไมโครกรัมต่อกรัม) สารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำ (47.5 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อ 100 กรัม) และสารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในไขมัน (33.4 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อ 100 กรัม) (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2561) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่ขึ้นกับความเข้มข้นของสี โดยพบว่าข้าวที่มีสีเข้มกว่าจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า

2.3 การเพาะงอก

การเพาะให้งอกเป็นกระบวนการที่ใช้กับเมล็ดธัญพืชต่างๆ ก่อนที่จะนำมารับประทานหรือแปรรูป เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและทำให้เมล็ดข้าวมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มและมีรสหวานขึ้น ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในเมล็ดข้าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี (สุตารัตน์, 2560) วัตถุประสงค์ของการเพาะให้งอกคือเพื่อกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และฮอร์โมนในเมล็ดธัญพืช ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดธัญพืช

Blaise et al. (2008) ได้แสดงถึงขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการเพาะให้งอก ซึ่งประกอบด้วย

1) การทำความสะอาดและคัดเลือก (cleaning and grading) เป็นการแยกเอาสิ่งสกปรกและคัดกรองเมล็ดธัญพืชที่ไม่สมบูรณ์ออก

2) การแช่น้ำ (steeping) ในขั้นตอนนี้เมล็ดจะดูดน้ำทำให้ปริมาตรเพิ่ม อุณหภูมิของน้ำมักจะอยู่ในช่วง 15-10 องศาเซลเซียสและแช่นานประมาณ 36-48 ชั่วโมง หรือขึ้นกับปริมาณเมล็ดที่จะทำการ

งอก น้ำจะเคลื่อนตัวเข้าเมล็ดจากส่วนของคัพภะ (germ) อย่างช้า ๆ ผ่านเยื่อเมมเบรนและน้ำจะมีการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าส่วน aleurone ไปยังส่วนท้ายหรือฝั่งตรงข้ามกับคัพภะ เมื่อแช่เมล็ดผ่านไป 4-6 ชั่วโมงจะต้องทิ้งน้ำแช่และเป่าลมเพื่อไว้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นตอนนี้เมล็ดจะมีความชื้นประมาณ 43-46% Saikusa et al. (1994) พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของกรดอะมิโนอิสระและ gamma-aminobutyric acid (GABA) ระหว่างการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับกรดอะมิโนอิสระ ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ปริมาณกรดอะมิโน glutamate มีการลดลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการกระตุ้นทำงานของเอนไซม์ในเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่น้ำ

3) การงอก (germination) สำหรับขั้นตอนนี้ใช้ระยะเวลานานประมาณ 4-6 วันหรือขึ้นกับปริมาณเมล็ดที่จะทำการงอก ต้องมีการเป่าลมเย็นอุณหภูมิประมาณ 15-22 องศาเซลเซียสเพื่อเป็นการไล่ความร้อนและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ รากฝอย (rootlet) และเนื้อเยื่อหุ้มยอดแรกเกิด (coleoptile) จะเกิดขึ้นภายในเมล็ดธัญพืชเมื่ออยู่ในสถานะที่มีน้ำเพียงพอ เอนไซม์ย่อยสลายเอนไซม์ cytolytic และเอนไซม์ proteolytic จะถูกกระตุ้นให้มีกิจกรรมการย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ เช่น สตาร์ช โปรตีน β -glucan ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง กระบวนการงอกจะสิ้นสุดเมื่อสังเกตเห็นว่าหน่อพืช (acrospire) มีความยาวประมาณ 2/3-3/4 ของความยาวของเมล็ดซึ่งจะเรียกว่า green malt

4) การทำแห้ง (kilning) สำหรับขั้นตอนทำแห้ง ความชื้นในเมล็ดจะถูกไล่ออกทำให้มอลต์มีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาแต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความเปรี้ยว อุณหภูมิของลมเป่าที่ใช้ไล่ความชื้นประมาณ 50-80 องศาเซลเซียส การทำงานของเอนไซม์จะขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้ง

2.4 โปรตีนข้าว

ข้าวมีโปรตีนประมาณ 7% ซึ่งถือว่าไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับธัญพืชชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามกำลังในการผลิตข้าวของโลกมีค่าสูงถึง 741 ล้านตันต่อปี จึงทำให้โปรตีนข้าวน่าจะเป็นแหล่งของโปรตีนที่น่าสนใจอีกแหล่งหนึ่ง เมล็ดข้าวมีโปรตีนเก็บสะสม (storage protein) 4 ชนิด ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) โกลบูลิน (globulins) โปรลามิน (prolamins) และกลูเตลิน (gluteins) โดยกลูเตลินเป็นโปรตีนสะสมที่พบมากที่สุดในการข้าว ประมาณ 70-80% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด ในขณะที่โปรลามินพบน้อย ส่วนอัลบูมินและโกลบูลินมีประมาณ 5-10% และ 7-15% ตามลำดับ ในด้านการนำไปใช้ประโยชน์นั้นจะพบว่า โปรตีนข้าว (intact rice protein) จะมีข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการละลายน้ำ ดังนั้นจึงมีความนิยมใช้โปรตีนไฮโดรเสตมากกว่า เพราะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่า (Amagliami et al., 2019)

จากในการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนข้าวเข้มข้น (rice protein concentrate: RPC) โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตจากเอนโดสเปิร์ม (rice endosperm protein hydrolysate: RPH) และ โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตจากรำข้าว (rice bran protein hydrolysate: RBPH) จะพบว่า ความสามารถในการละลายน้ำในช่วง pH 2-8 ของ RPC มีค่าต่ำ (2-35%) ในขณะที่ RPH และ RBPH มีความสามารถในการละลายน้ำได้ในระดับดีและปานกลาง ตามลำดับ โดยที่มีค่าการละลายน้ำมากกว่า 60% นอกจากนี้ยังพบว่า RPH และ RPBH (ความเข้มข้น 5% w/v; pH 6.8) มีความสามารถในการเกิดโฟม (Foam capacity) สูงกว่าโปรตีนจากนม (โปรตีนเวย์ โปรตีนเวย์ไฮโดรไลเสต และผงหางนม) จึงแสดงให้เห็นว่าโปรตีนข้าวสามารถเก็บกักอากาศได้ดีกว่า และมีความคงตัว (Foam stability) สูง โดยมีการหายไปของปริมาตรเพียง 10.0-19.7% หลังจากที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จากผลการทดลองทำให้พบได้ว่าโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตสามารถนำมาประยุกต์ในการพัฒนาอาหารแทนการใช้โปรตีนนมได้ (Amaglini et al., 2019)



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

- 1) ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ รีดจากบ้านไร่ต้นฝืน อำเภอลอง จังหวัดแพร่
- 2) โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 83.46 (ผลวิเคราะห์เมื่อวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2566 จาก บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ซื้อจาก รศ.ดร. ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล คณะเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยรังสิต จังหวัดปทุมธานี
- 3) ผงเซลลูโลสดัดแปลง hydroxypropyl methylcellulose ยี่ห้อ Any Addy CN-40H ซื้อจากบริษัท Onimax Co., Ltd. ประเทศไทย
- 4) ผงปรุงรส ยี่ห้อ Openland Seasoning ซื้อจากบริษัท โอเพนแลนด์ ซีซั่นนิ่ง จำกัด ประเทศไทย

3.2 สารเคมี

- 1) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Concentrated H_2SO_4) เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์
- 2) กรดบอริก (boric acid) เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรด AR ยี่ห้อ Loba ChemieTM ประเทศอินเดีย
- 4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์
- 5) คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์
- 6) โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เกรด AR ยี่ห้อ Daejung ประเทศเกาหลี
- 7) โซเดียมซัลเฟต (anhydrous Na_2SO_4) เกรด AR ยี่ห้อ Loba ChemieTM ประเทศอินเดีย
- 8) เอทานอล (ethanol) เกรด AR ยี่ห้อ RCI Labscan ประเทศไทย
- 9) Methyl red เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์
- 10) Bromocresol green เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์
- 10) Folin-Ciocalteu's reagent เกรด AR ยี่ห้อ Loba ChemieTM ประเทศอินเดีย
- 11) กรดแกลลิก (gallic acid) เกรด AR ยี่ห้อ AcrosTM ประเทศเบลเยียม
- 12) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์
- 13) DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) เกรด AR ยี่ห้อ Alfa Aesar ประเทศสหราชอาณาจักร

- 14) Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) เกรด HPLC ยี่ห้อ Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 15) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KHCO_3) เกรด AR ยี่ห้อ Daejung ประเทศเกาหลี
- 16) โซเดียมอะซิเตท ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์
- 17) กรดอะซิติก (CH_3COOH) เกรด AR ยี่ห้อ Qręc ประเทศนิวซีแลนด์

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) เครื่องสำหรับการทำผลิตภัณฑ์

- เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น UX3200G ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องปั่นผสมอาหาร รุ่น HR2221 ยี่ห้อ Philips ประเทศอินโดนีเซีย
- เครื่องผสมอาหาร รุ่น EM3407 ยี่ห้อ Electrolux ประเทศจีน
- ภาชนะเครื่องครัวสแตนเลสสตีล
- แผ่นพิมพ์ขึ้นรูป
- หม้อหุงข้าว รุ่น RK32166 ยี่ห้อ Tefal ประเทศไทย
- ไม้พายพลาสติก
- ทัพพี
- เครื่องอบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) รุ่น HB-12A ยี่ห้อ Fnb Machinery & Solution ประเทศไทย

2) เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพ

- ภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาครอบ
- ที่คืบ (Tong) หรือถุงมือ
- เดซิเคเตอร์
- ตู้อบไฟฟ้า รุ่น JMC-20RI ยี่ห้อ UP Union ประเทศไทย
- เวอร์เนียคาลิเปอร์ รุ่น CD-6" AX ยี่ห้อ Mitutoyo ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดสี Colorimeter รุ่น CR-10 ยี่ห้อ Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดค่า a_w รุ่น Series 3TE ยี่ห้อ AquaLab ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA.XT Plus ยี่ห้อ Stable Micro System ประเทศสหราชอาณาจักร
- ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Digestion, Distillation, Scrubber)
- Digestion tube ขนาด 300 มิลลิเมตร
- กระดาษกรอง Whatman NO. 1 และ NO. 4

- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- บิวเรตต์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
- Glass bead

3.4 วิธีการ

3.4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การศึกษานี้เป็นการศึกษาอัตราส่วนของข้าวสุกต่อน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ อัตราส่วน 1:1 2:3 และ 1:2 ร่วมกับการใช้ปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต ร้อยละ 2.5 5 และ 8 โดยมีการดำเนินการดังนี้

1) การผลิต

เตรียมข้าวสุกโดยการชั่งข้าวสารและน้ำ ทำการล้างข้าวสารให้สะอาด จากนั้นนำไปสะเด็ดน้ำและหุงข้าวให้สุกด้วยหม้อหุงข้าวรุ่น RK32166 ยี่ห้อ Tefal โดยใช้ข้าวสาร 1 ส่วนต่อน้ำสะอาด 2 ส่วน เมื่อได้ข้าวสุกแล้วนำมาปั่นผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำที่ต้องการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วน 1:1 2:3 และ 1:2 และกรองผ่านตะแกรง หลังจากนั้นเติมผงเซลล์ูโลสตัดแปลงและคนผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมโปรตีนข้าว ร้อยละ 2 5 และ 8 และปั่นผสมเป็นเวลา 10-15 นาที นำส่วนผสมหลังการปั่นผสมมาขึ้นรูปด้วยพิมพ์รูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา 40 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที หรือจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ทิ้งให้ตัวอย่างเย็นแล้วบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ต่อไป

2) การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกาย ได้แก่ การวัดขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนา) วัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ การวัดค่าสีระบบ CIE L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดสี การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA.XT Plus ยี่ห้อ Stable Micro System (ประเทศสหราชอาณาจักร) ร่วมกับการใช้หัววัดแบบ HDP/CFS และการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์

a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (รุ่น Series 3TE ยี่ห้อ AquaLab ประเทศสหรัฐอเมริกา) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี kjeldahl (AOAC, 2000) การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (Pothinuch et, al., 2024) และวิธี DPPH (Pothinuch et, al., 2024) การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH differential (Pothinuch et, al., 2024) โดยรายละเอียดของแต่ละวิธีแสดงในภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การทดสอบระดับความกรอบ โดยให้คะแนนระดับความกรอบตั้งแต่ 1 (กรอบน้อยที่สุด) ถึง 5 (กรอบมากที่สุด) และ การทดสอบความชอบแบบ 9-point hedonic scale กับผู้ชิมจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน และมีอายุ 18 ปีขึ้นไป ไม่ระบุเพศ

3.4.2 การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1) การผลิต

เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวแผ่นอบกรอบ ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 90 องศาเซลเซียส โดยจะใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด เพื่อจะนำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ได้จากการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาอบ และจะนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

2) การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกาย ได้แก่ การวัดขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนา) วัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และการวัดค่าสีระบบ CIE L^* a^* b^* โดยใช้เครื่องวัดสี การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2000) ค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w และปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) และการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การทดสอบระดับความกรอบ โดยให้คะแนนระดับความกรอบตั้งแต่ 1 (กรอบน้อยที่สุด) ถึง 5 (กรอบมากที่สุด) และ การทดสอบความชอบแบบ 9-point hedonic scale กับผู้ชิมจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน และมีอายุ 18 ปีขึ้นไป ไม่ระบุเพศ

3.4.3 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะถูกนำไปทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทำฉลากโภชนาการติดบนบรรจุภัณฑ์ โดยจะทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 15 รายการ ได้แก่ พลังงาน

พลังงานจากไขมัน โปรตีน ไขมัน ไขมันอิ่มตัว โคเลสเตอรอล คาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร ปริมาณ น้ำตาลทั้งหมด โซเดียม แคลเซียม เหล็ก วิตามินเอ วิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

3.4.4 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการคัดเลือกจากการทดสอบความชอบแล้วมาทำการประเมินยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยผู้ประเมินเป็นบุคคลทั่วไป โดยใช้แบบสอบถามการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมิน ข้อมูลการบริโภคขนมขบเคี้ยวชนิดต่าง ๆ และการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าว (ภาคผนวก ค) ด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การทดสอบระดับความกรอบ โดยให้คะแนนระดับความกรอบตั้งแต่ 1 (กรอบน้อยที่สุด) ถึง 5 (กรอบมากที่สุด) และ การทดสอบความชอบแบบ 9-point hedonic scale กับผู้ชิมจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน และมีอายุ 18 ปีขึ้นไป ไม่ระบุเพศ จำนวน 120 คน

3.4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การศึกษาอัตราส่วนข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ร็อกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ร็อกที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ร็อก ใช้การออกแบบทดลองแบบแฟคเตอเรียลในการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (factorial in completely randomized design: factorial in CRD) สำหรับ 2 ปัจจัย ส่วนสภาวะการทำแห้งในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ร็อกทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ด้วยวิธี t-test สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะใช้การออกแบบการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (randomized complete block design:RCBD) ข้อมูลคุณภาพต่าง ๆ จะแสดงในรูปแบบค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาจากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และใช้วิธี Fisher Least Significant Difference (LSD) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างที่ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญที่ร้อยละ 95

บทที่ 4

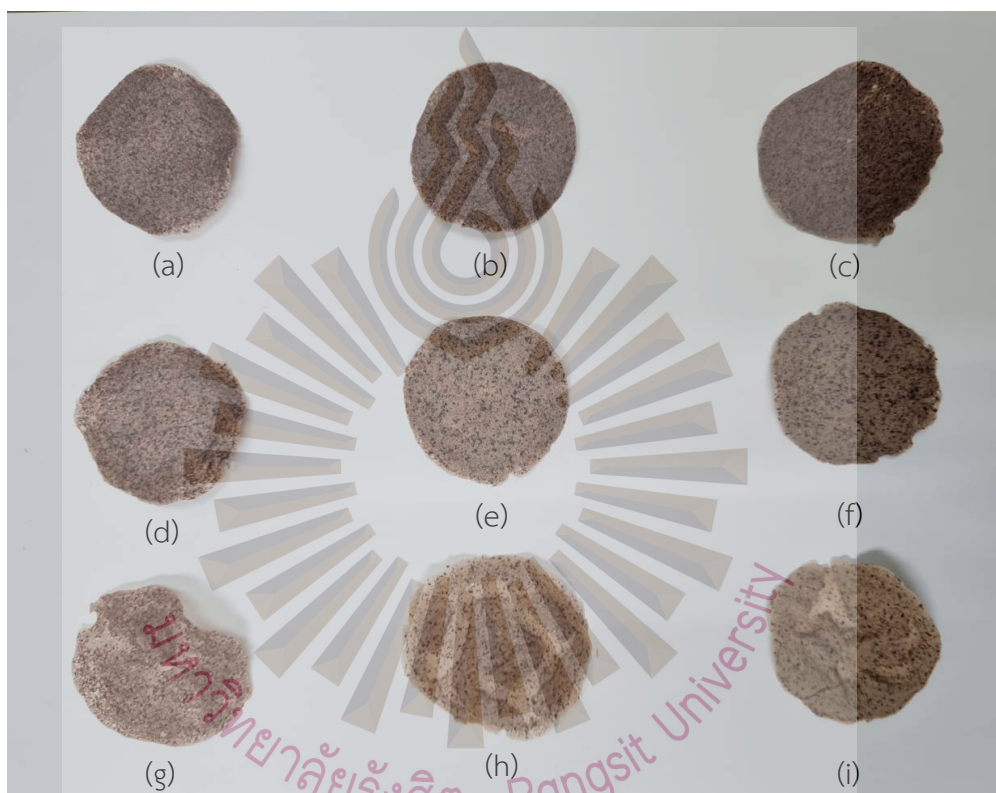
ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผลิตโดยประยุกต์ใช้เทคนิคทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตเป็นสารก่อโฟมรวมกับการใช้เซลลูโลสตัดแปรเพื่อให้โฟมที่เกิดขึ้นมีความคงตัว ทำให้สามารถขึ้นรูปขนมได้ง่าย การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนของข้าวสุกต่อน้ำร่วมกับปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ในการศึกษาได้มีการใช้อัตราส่วนของปริมาณข้าวสุกต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 1:1 2:3 และ 1:2 ร่วมกับการใช้ปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต 3 ระดับ คือ ร้อยละ 2.5 5 และ 8 โดยลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยสูตรการผลิตที่ต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.1

สำหรับคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกเสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตได้วิเคราะห์คุณลักษณะทางกาย ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนา (ตารางที่ 4.1) การวัดสีระบบ CIE L* a* b* (ตารางที่ 4.2) และการวัดเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความเปราะ ความแข็ง และความกรอบ (ตารางที่ 4.3) พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 40.61 - 46.69 มิลลิเมตร อิทธิพลรวมระหว่างอัตราส่วนของข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตไม่มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ร่วมกัน ($p > 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำต่ำหรือเมื่อใช้น้ำเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 2:3 และ 1:2 ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.35 4.17 และ 10.65 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการอบแห้ง เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตเป็นร้อยละ 8 ส่งผลให้การขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 2.5 และ 5 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.72 และ 7.80 ตามลำดับ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มเพียงร้อยละ 3.07 เมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการ

อบแห้ง (40 มิลลิเมตร) ความหนาของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง 0.22-0.80 มิลลิเมตร โดยอัตราส่วนข้าวและน้ำกับปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้ผลิตมีผลต่อความหนาร่วมกัน จากการทดลองพบว่าความหนาของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาลดลง ร้อยละ 60-89 เนื่องจากมีการระเหยของน้ำหลังการทำแห้งแบบโฟมแมท



ภาพที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต โดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1 (แถวบนสุด) ร่วมกับโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 2.5 (a) โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 5 (b) โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 8 (c) อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 2:3 ร่วมกับโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 2.5 (d) อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 2:3 (แถวกลาง) ร่วมกับโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 5 (e) โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 8 (f) โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 2.5% (แถวล่างสุด) (g) อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 5 (h) อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 8 (i)

ตารางที่ 4.1 ขนาดของแผ่นขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ	โปรตีนข้าว (ร้อยละ)			
	2.5	5.0	8.0	ค่าเฉลี่ย
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)				
1:1	40.72±1.01	42.65±0.65	40.61±1.08	41.34±1.16 ^B
2:3	41.50±1.64	42.51±1.10	41.00±0.99	41.67±1.23 ^B
1:2	46.69±2.39	44.23±2.08	41.98±1.57	44.26±1.22 ^A
ค่าเฉลี่ย	42.92±3.07 ^a	43.12±1.37 ^a	41.23±1.08 ^b	
ความหนา (มิลลิเมตร)				
1:1	0.59±0.10 ^{A,a}	0.48±0.09 ^{A,b}	0.61±0.10 ^{B,a}	
2:3	0.39±0.14 ^{B,b}	0.53±0.13 ^{A,b}	0.80±0.06 ^{A,a}	
1:2	0.22±0.07 ^{C,b}	0.33±0.12 ^{B,b}	0.69±0.27 ^{AB,a}	

หมายเหตุ ตัวอักษร A-B แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้ง ตัวอักษร a-c แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ($p < 0.05$)

ค่าสีของผลิตภัณฑ์โดยใช้ระบบ CIE แสดงดังตารางที่ 4.2 ระบบ CIE จะระบุค่า L^* a^* b^* โดย ค่า L^* บ่งบอกถึงความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว ค่า a^* บรรยายแกนสีเขียว-แดง ถ้า a^* เป็นค่าลบแสดงถึงสีเขียว และค่า a^* เป็นบวกแสดงถึงสีแดง สำหรับค่า b^* บรรยายแกนสีจากน้ำเงินจนถึงเหลือง เมื่อค่า b^* เป็นลบแสดงถึงสีน้ำเงิน เมื่อค่า b^* เป็นบวกแสดงถึงสีเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า L^* a^* b^* อยู่ในช่วง 28.01 - 41.49, (-4.13) - (-0.71) และ 12.35 - 14.84 ตามลำดับ อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตมีผลต่อค่า L^* และ ค่า a^* ร่วมกัน สำหรับค่า L^* ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำต่ำร่วมกับการใช้โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตสูงจะมีค่า L^* เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำต่ำหรือมีการใช้น้ำปริมาณมากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดโฟมสูงกว่าสภาวะอื่น ๆ น้ำมีผลต่อความสามารถในการละลายของโปรตีนข้าวและการสร้างฟองผิวระหว่างอากาศและน้ำที่มีความคงตัว ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น โปรตีนจะเคลื่อนที่ไปยังพื้นผิวระหว่างอากาศกับน้ำ

และช่วยลดแรงตึงผิว ส่งผลให้เกิดฟองได้ดี (Chandi & Sogi, 2007; Deotale et. al., 2023) เมื่อความสามารถในการเกิดฟองดีส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีความสว่างเพิ่มขึ้น (Damoderan, 2005) สำหรับค่า a^* ของผลิตภัณฑ์มีค่าลบ แต่ค่า a^* ของตัวอย่างค่อนข้างอยู่ใกล้แกนกลาง ผลิตภัณฑ์จึงไม่ได้มีเฉดสีเขียวที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ความเป็นสีเขียวของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของข้าวสุกต่อน้ำลดลงและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตเพิ่มขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำเท่ากับ 1:1 ร่วมกับการใช้ปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตเท่ากับร้อยละ 2.5 และ 5 ก็มีความเป็นสีเขียวสูงเช่นกัน ซึ่งน่าจะเกิดจากสีของโปรตีนข้าวที่เป็นส่วนผสม (Chandi & Sogi, 2007) สำหรับค่า b^* ของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้ แต่ปัจจัยทั้งสองจะไม่มีผลร่วมกัน ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีค่า b^* เป็นค่าบวก ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นระหว่างการอบ โดยในผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำต่ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตสูงจะมีค่า b^* เพิ่มขึ้น โดยปริมาณโปรตีนไฮโดรไลเสตจากข้าวเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้เกิดสารประกอบเมลานอยดินที่มีเหลืองน้ำตาล (Li et al., 2012; Nursten, 2005) นอกจากนี้สูตรที่ใช้อัตราข้าวสุกต่อน้ำต่ำจะมีปริมาณน้ำมากกว่าสูตรอื่น ซึ่งน้ำมีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดช่วงต้น โดยช่วงกระจายตัวของสารตั้งต้นและเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลส่งผลให้เกิดสีเหลืองเพิ่มขึ้น (Cheng et al., 2017) ดังนั้น เมื่อพิจารณาค่าสี L^* a^* b^* พบว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะสีน้ำตาลมะกอกซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจากส่วนประกอบของข้าวและโปรตีนไฮโดรไลเสต รวมถึงผลของไฟฟอสฟอรีลที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ตารางที่ 4.2 ค่าสีระบบ CIE L* a* b* ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ	โปรตีนข้าว (ร้อยละ)			
	2.5	5.0	8.0	
L*				
1:1	30.89±0.87 ^{B,b}	34.34±2.31 ^{B,a}	32.18±1.89 ^{B,ab}	
2:3	28.01±2.95 ^{C,b}	34.58±2.33 ^{B,a}	34.05±1.35 ^{B,a}	
1:2	35.37±0.99 ^{A,b}	38.15±2.55 ^{A,ab}	41.49±4.74 ^{A,a}	
a*				
1:1	-3.76±0.95 ^{C,b}	-3.17±0.19 ^{B,b}	-1.11±0.23 ^{A,a}	
2:3	-0.99±0.73 ^{A,ab}	-0.71±0.73 ^{A,a}	-2.15±1.46 ^{A,b}	
1:2	-2.07±0.28 ^{B,a}	-4.13±1.09 ^{B,b}	-4.67±0.64 ^{B,b}	
b*				ค่าเฉลี่ย
1:1	12.07±0.85	12.81±0.88	13.40±0.31	12.76±0.23 ^B
2:3	11.42±1.02	12.72±0.63	15.35±0.72	13.16±0.48 ^B
1:2	13.55±0.52	14.73±2.46	15.73±0.98	14.68±0.44 ^A
ค่าเฉลี่ย	12.35±1.20 ^C	13.42±1.73 ^b	14.84±1.26 ^a	

หมายเหตุ ตัวอักษร A-B แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้ง ตัวอักษร a-c แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ($p < 0.05$)

เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 4.3 โดยเป็นการวัดค่าความเปราะ หรือค่า fracturability เป็นการวัดแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหักโดยตัวอย่างที่มี hardness สูงและมี cohesiveness ต่ำ หรือเป็นแรงกดทันทีทันใดในแนวดิ่งที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการแตกหักเป็นชิ้นๆ และกระจายออกในแนวราบ ค่าความแข็ง (hardness) เป็นแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดครั้งแรก หรือเป็นแรงที่ทำให้ตัวอย่างเสียรูป และความกรอบ (crispness) เป็นการจำนวนพิก (peak count) จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตมีผลต่อความเปราะ ความแข็ง และความกรอบของผลิตภัณฑ์ร่วมกัน ($p < 0.05$) เมื่อปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความเปราะ ความแข็ง และความกรอบเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการ

ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:1 และ 2:3 ก็ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเปราะ ความแข็ง และความกรอบ ที่มากกว่าการใช้อัตราส่วนข้าว 1:2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์น่าจะ ส่งผลต่อความเปราะ ความแข็ง และความกรอบ

ตารางที่ 4.3 ค่าการวัดเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าว ไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ	โปรตีนข้าว (ร้อยละ)		
	2.5	5.0	8.0
ความเปราะ (นิวตัน)			
1:1	2.55±0.17 ^{A,a}	1.65±0.25 ^{B,b}	2.92±0.55 ^{A,a}
2:3	1.79±0.40 ^{B,b}	2.47±0.45 ^{A,a}	2.72±0.27 ^{A,a}
1:2	0.67±0.17 ^{C,b}	1.11±0.18 ^{C,a}	1.03±0.30 ^{B,a}
ความแข็ง (นิวตัน)			
1:1	2.55±0.17 ^{A,b}	1.84±0.28 ^{B,c}	3.01±0.47 ^{A,a}
2:3	1.93±0.56 ^{B,b}	2.47±0.45 ^{A,ab}	2.93±0.42 ^{A,a}
1:2	0.74±0.22 ^{C,b}	1.31±0.61 ^{B,a}	1.35±0.25 ^{B,a}
ความกรอบ			
1:1	2.67±1.03 ^{B,b}	5.50±1.38 ^{A,a}	4.83±1.60 ^{A,a}
2:3	5.33±1.37 ^{A,a}	2.33±0.82 ^{B,b}	3.67±1.37 ^{A,b}
1:2	2.83±0.98 ^{B,a}	4.00±2.53 ^{AB,a}	3.17±1.83 ^{A,a}

หมายเหตุ ตัวอักษร A-B แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ตัวอักษร a-c แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้ง ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

ตารางที่ 4.4 ค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอก
ไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าว
ไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ	โปรตีนข้าว (ร้อยละ)		
	2.5	5.0	8.0
a_w			
1:1	$0.36 \pm 0.00^{B,a}$	$0.34 \pm 0.02^{B,b}$	$0.32 \pm 0.01^{B,b}$
2:3	$0.36 \pm 0.01^{B,a}$	$0.31 \pm 0.02^{B,b}$	$0.30 \pm 0.01^{C,b}$
1:2	$0.42 \pm 0.01^{A,a}$	$0.41 \pm 0.02^{A,a}$	$0.36 \pm 0.00^{A,b}$
ความชื้น (%)			
1:1	$7.47 \pm 0.10^{A,a}$	$6.56 \pm 0.18^{B,b}$	$4.73 \pm 0.20^{C,c}$
2:3	$6.52 \pm 0.26^{B,a}$	$6.08 \pm 0.02^{C,b}$	$6.17 \pm 0.09^{A,b}$
1:2	$7.80 \pm 0.06^{A,a}$	$7.04 \pm 0.21^{A,b}$	$5.81 \pm 0.13^{B,c}$
โปรตีน (%)			
1:1	$18.22 \pm 0.02^{C,c}$	$25.42 \pm 0.12^{C,b}$	$32.92 \pm 0.08^{C,a}$
2:3	$18.72 \pm 0.13^{B,c}$	$27.92 \pm 0.34^{B,b}$	$36.23 \pm 0.07^{B,a}$
1:2	$20.79 \pm 0.22^{A,c}$	$30.31 \pm 0.06^{A,b}$	$39.09 \pm 0.06^{A,a}$

หมายเหตุ ตัวอักษร A-B แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ตัวอักษร a-c แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้ง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ($p < 0.05$)

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 4.4-4.5 โดยได้ทำการวิเคราะห์ค่า a_w ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.30-0.42 4.73-7.80 และร้อยละ 18.22-39.09 ตามลำดับ อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตมีผลต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ร่วมกัน สำหรับค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำต่ำร่วมกับปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตต่ำจะมีค่า a_w สูงกว่าสภาวะอื่น อาจเป็นเพราะมีการใช้น้ำปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนเช่นเดียวกันกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ การใช้โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตในปริมาณต่ำอาจส่งผล

ให้โฟมที่เกิดขึ้นมีความคงตัวต่ำหรือมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของโฟมมีบทบาทสำคัญต่อการกระจายความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ โดยโฟมที่มีความหนาแน่นสูงมักประกอบด้วยช่องอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านช่องว่างในโครงสร้างเกิดได้น้อย ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำระหว่างการอบแห้งต่ำลง ในทางตรงกันข้าม หากโฟมมีความหนาแน่นต่ำ จะมีช่องว่างภายในโครงสร้างมากขึ้น ทำให้น้ำสามารถแพร่กระจายและระเหยออกได้ง่ายกว่า ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำและประสิทธิภาพในการอบแห้งของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น (Thuwapanichayanan et al., 2008) สำหรับปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 8 มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด คือ ร้อยละ 39.09

ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.67-1.08 มิลลิกรัมสมมูลกับกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด 0.23-0.50 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH 1.53-2.25 มิลลิกรัมสมมูลกับ Trolox ต่อกรัมตัวอย่าง อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตมีผลร่วมกันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ ขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับอัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ แต่ไม่ขึ้นกับปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต ข้าวไรซ์เบอร์รี่กล้องงอกและโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกยังมีสารต้านอนุมูลอิสระแอนโทไซยานิน อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการเพาะงอกที่ต้องแช่เมล็ดข้าวในน้ำ อาจทำให้เกิดสูญเสียแอนโทไซยานินเนื่องจากคุณสมบัติที่ละลายได้ในน้ำ นอกจากแอนโทไซยานินยังมีความไวต่อความร้อนจึงอาจถูกทำลายได้จากกระบวนการให้ความร้อนในการแปรรูป เช่น การอบ เป็นต้น (Petra et. al., 2010) ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำต่ำหรือใช้ปริมาณน้ำมากอาจส่งผลปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ ทำให้เกิดการเจือจางของปริมาณแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์โดยรวม

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ	โปรตีนข้าว (ร้อยละ)			
	2.5	5.0	8.0	
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid equivalent/g)				
1:1	1.00±0.00 ^{B,a}	0.88±0.07 ^{A,b}	0.68±0.01 ^{B,c}	
2:3	0.74±0.02 ^{C,b}	0.91±0.02 ^{A,a}	0.67±0.00 ^{B,c}	
1:2	1.08±0.01 ^{A,a}	0.80±0.01 ^{A,c}	0.85±0.02 ^{A,b}	
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/g)				
1:1	0.37±0.10	0.36±0.05	0.34±0.05	0.36±0.06 ^B
2:3	0.43±0.02	0.47±0.02	0.50±0.03	0.46±0.03 ^A
1:2	0.28±0.04	0.23±0.12	0.26±0.01	0.25±0.07 ^C
	0.36±0.09 ^a	0.35±0.12 ^a	0.36±0.11 ^a	
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (mg Trolox equivalent/g)				
1:1	2.25±0.01 ^{A,a}	1.86±0.03 ^{B,b}	1.63±0.02 ^{B,c}	
2:3	2.13±0.03 ^{B,a}	1.99±0.09 ^{A,ab}	1.95±0.09 ^{A,b}	
1:2	1.97±0.04 ^{C,a}	1.86±0.01 ^{B,b}	1.53±0.03 ^{B,c}	

หมายเหตุ ตัวอักษร A-B แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ตัวอักษร a-c แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้ง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ($p < 0.05$)

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทำการวัดระดับความกรอบและความชอบที่ผู้ทดสอบมีต่อผลิตภัณฑ์ โดยได้คัดเลือกสูตรการผลิตเพียง 6 สูตร ได้แก่ สูตรที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1 และ 2:3 และสูตรที่ใช้โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 2.5 5 และ 8 โดยระดับความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบให้คะแนนมีค่าอยู่ระหว่าง 2.85 (กรอบน้อยถึงกรอบปานกลาง) -3.90 (กรอบปานกลางถึงกรอบมาก) สูตรที่มีการใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 2:3 ร่วมกับโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตร้อยละ 5 ได้รับคะแนนระดับความกรอบมากที่สุด (ตารางที่ 4.6) สูตรที่ไม่ผ่าน

การคัดเลือกคือ สูตรที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำเท่ากับ 1:2 เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบางมาก และแตกหักได้ง่ายมากเมื่อนำไปคลุกผงปรุงรส (ภาพที่ 4.1 g-i)

ตารางที่ 4.6 ระดับความกรอบของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน

สูตร	อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ	โปรตีนข้าว	ระดับความกรอบ
1	1:1	2.5	3.50 ± 1.22^{ab}
2	1:1	5	3.25 ± 1.01^{bc}
3	1:1	8	2.85 ± 1.26^d
4	2:3	2.5	3.50 ± 1.11^{ab}
5	2:3	5	3.90 ± 0.93^a
6	2:3	8	3.05 ± 1.34^{bc}

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการประเมินความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ การเกาะติดฟัน และความชอบโดยรวมแสดงดังตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบพบว่า คะแนนความชอบต่อลักษณะปรากฏของสูตรการผลิตทั้ง 6 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยระดับความชอบต่อสีจะมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 5.61 (ค่อนข้างชอบเล็กน้อย) ขณะที่คะแนนความชอบด้านสี ความกรอบ การเกาะติดฟัน และความชอบโดยรวมของแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยคะแนนชอบต่อสี ความกรอบ การเกาะติดฟัน และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.27-5.92 (ค่อนข้างชอบเล็กน้อย) 4.97-6.92 (ค่อนข้างชอบปานกลาง) 4.60-5.80 (ค่อนข้างชอบเล็กน้อย) และ 5.28-6.35 (ชอบเล็กน้อย) จากการประเมินพบว่าสูตร 4 และสูตร 5 ได้รับคะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ ในระดับที่สูงกว่าสูตรอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามสูตร 5 มีปริมาณโปรตีน ($36.23 \pm 0.07\%$) มากกว่าสูตร 4 ดังนั้นสูตร 5 จึงถูกเลือกมาใช้ในการศึกษากระบวนการทำแห้งอีกต่อไป

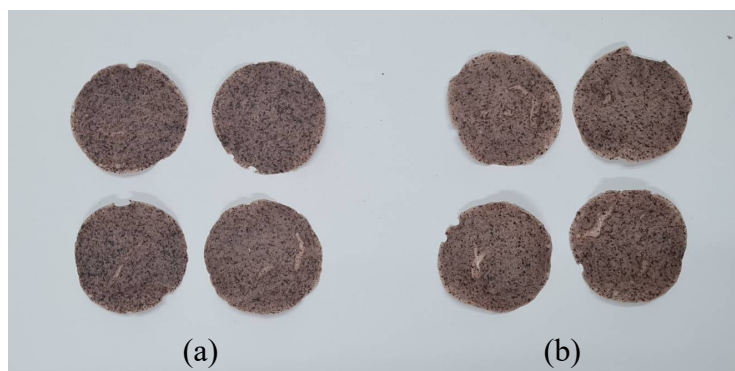
ตารางที่ 4.7 คะแนนความชอบของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าว
ไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่แตกต่างกัน

สูตร	อัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ	โปรตีน ข้าว	ลักษณะ ปรากฏ	สี	ความกรอบ	การเกาะติด ฟัน	ความชอบ โดยรวม
1	1:1	2.5	5.72±1.87 ^a	5.60±1.75 ^{ab}	6.92±1.51 ^a	5.32±1.77 ^{bc}	6.17±1.65 ^a
2	1:1	5	5.67±1.64 ^a	5.42±1.69 ^{ab}	6.37±1.56 ^{ab}	5.20±1.98 ^{bcd}	6.08±1.51 ^a
3	1:1	8	5.55±1.63 ^a	5.27±1.81 ^b	4.97±1.94 ^c	4.60±2.07 ^d	5.28±2.04 ^b
4	2:3	2.5	5.67±1.54 ^a	5.92±1.67 ^a	6.60±1.85 ^a	6.50±0.27 ^a	6.60±1.56 ^a
5	2:3	5	5.60±1.75 ^a	5.62±1.73 ^{ab}	6.80±1.52 ^a	5.80±1.71 ^b	6.35±1.58 ^a
6	2:3	8	5.50±1.57 ^a	5.72±1.52 ^{ab}	5.87±1.75 ^b	5.05±1.72 ^{cd}	5.35±1.89 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบ
ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

4.2 การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การศึกษาลักษณะของสภาวะการทำแห้งได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการอบแห้ง 2 วิธี คือ การอบแห้ง
ด้วยเตาอบ และการอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้มากขึ้น ลักษณะ
ปรากฏของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นอบกรอบที่ผลิตจากการอบแห้งทั้งสองวิธีมีลักษณะใกล้เคียงกัน (ภาพที่
4.2) แต่ตัวอย่างที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบถาดจะมีผิวหนานูนเล็กน้อย น่าจะเกิดจากอัตราการใช้
ของน้ำในตัวอย่างที่อบด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดสูงกว่าการอบด้วยเตาอบ



ภาพที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบ (a) และเครื่องทำแห้งแบบถาด (b)

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ได้จากการอบด้วยเตาอบและเครื่องทำแห้งแบบถาดทำโดยการวัดขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนา การวัดสี) การวัดสี ($L^* a^* b^*$) และการวัดเนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความเปราะ และความกรอบ) จากการทดลองพบว่า สภาวะการอบแห้งด้วยเตาอบและเครื่องทำแห้งแบบถาดไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของคุณภาพทางกายภาพด้านขนาด สี และเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.8-4.10) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 41.60 และ 0.53 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าสีของผลิตภัณฑ์แสดงเป็นค่า $L^* a^* b^*$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.76 -3.78 และ 13.55 ตามลำดับ สำหรับความแข็ง ความเปราะ และความกรอบของผลิตภัณฑ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.20 นิวตัน 2.20 นิวตัน และ 3.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ขนาดของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.) ^{ns}	ความหนา (มม.) ^{ns}
เตาอบ	41.72±0.33	0.53±0.07
เครื่องทำแห้งแบบถาด	41.59±0.79	0.54±0.20

ตารางที่ 4.9 ค่าสีระบบ CIE L* a* b* ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการอบ	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}
เตาอบ	39.74±4.37	-4.10±0.51	13.14±2.38
เครื่องทำแห้งแบบถาด	35.79±1.37	-3.45±0.91	13.97±0.75

ตารางที่ 4.10 ค่าการวัดเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการอบ	ความเปราะ (นิวตัน) ^{ns}	ความแข็ง (นิวตัน) ^{ns}	ความกรอบ ^{ns}
เตาอบ	2.21±0.59	2.21±0.59	4.00±2.74
เครื่องทำแห้งแบบถาด	2.18±0.29	2.18±0.29	3.60±1.34

ตารางที่ 4.11 ค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการอบ	a _w ^{ns}	ความชื้น (%) ^{ns}	โปรตีน (%) ^{ns}
เตาอบ	0.28±0.02	6.55±0.08	30.11±0.20
เครื่องทำแห้งแบบถาด	0.33±0.03	6.91±0.16	29.57±0.41

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้สภาวะการทำแห้งอบด้วยเตาอบหรือเครื่องทำแห้งแบบถาดมีค่า a_w ความชื้น และโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า a_w ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.30 6.73 และ 29.84 ตามลำดับ สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยเตาอบ อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบด้วยเตา (100 องศาเซลเซียส) สูงกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (90 องศาเซลเซียส) ในการผลิตผลิตภัณฑ์มีการใช้ระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันเนื่องจากเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือ การอบด้วยเครื่องเตาอบสามารถผลิตได้ 125.4 กรัมต่อวัน ขณะที่

การใช้เครื่องอบลมร้อนแบบภาตสามารถเพิ่มการผลิตได้มากขึ้นถึง 4 เท่า (ปริมาณเฉลี่ย 520 กรัมต่อวัน) อย่างไรก็ตาม น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจยังไม่สูงนัก เนื่องจากกระบวนการผลิตใช้วิธีการทำแห้งแบบ foam mat ซึ่งเป็นรูปแบบการโครงสร้างที่มีช่องอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์หรือรูปแบบโฟม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสกรอบเบา (Ratti, 2001; Thuwapanichayanan et al., 2011)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการอบ	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมต่อกรัม)
เตาอบ	0.79 ± 0.02^b	0.43 ± 0.04^b
เครื่องทำแห้งแบบภาต	0.84 ± 0.01^a	0.74 ± 0.01^a

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะเป็นการประเมินระดับความกรอบ (crispness level) ซึ่งเป็นระดับการรับรู้ลักษณะแรงต้านที่เกิดขึ้นเมื่อกัดหรือเคี้ยวผลิตภัณฑ์อาหาร และการประเมินความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตงอกที่ผ่านการอบด้วยเตาอบและเครื่องทำแห้งแบบภาตได้รับคะแนนระดับความกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยได้รับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.65 ซึ่งจัดอยู่ในระดับความกรอบปานกลางถึงกรอบมาก (ตารางที่ 4.13) สำหรับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ การเกาะติดฟัน และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 4.14 จากผลการทดสอบพบว่า สภาวะการอบที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ การเกาะติดฟัน และความชอบโดยรวม โดยคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ การเกาะติดฟันหลังเคี้ยว และความชอบโดยรวมมีค่าเท่ากับ 6.22 (ชอบเล็กน้อย) 5.53 (ค่อนข้างไปทางชอบเล็กน้อย) 7.46 (ชอบปานกลาง) 5.95 (ค่อนข้างไปทางชอบเล็กน้อย) และ 6.83 (ค่อนข้างไปทางชอบปานกลาง) ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองกลุ่มมีลักษณะความกรอบในระดับที่ยอมรับได้โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงว่าวิธีการอบแห้งทั้งแบบ

เตาอบและเครื่องทำแห้งแบบถาดให้ผลที่ใกล้เคียงกันในแง่ความรู้สึกสัมผัส อย่างไรก็ตาม ค่าความชอบในแง่มุมต่าง ๆ เช่น สี การเกาะติดฟัน และความชอบโดยรวม ก็ไม่แตกต่างกันเช่นกัน สะท้อนว่าสภาวะการอบที่แตกต่างกันอาจไม่มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค สำหรับความชอบเฉลี่ยในด้านการเกาะติดฟันอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (5.95) สะท้อนถึงโอกาสในการปรับปรุงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.13 ระดับความกรอบของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเลตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการอบ	คะแนนระดับความกรอบ ^{ns}
เตาอบ	3.85±0.89
เครื่องทำแห้งแบบถาด	3.46±0.82

ตารางที่ 4.14 ความชอบของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเลตที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการอบ	คะแนนความชอบ				
	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	ความกรอบ ^{ns}	การเกาะติดฟันหลังเคี้ยว ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
เตาอบ	6.25±1.82	5.56±2.35	7.53±1.48	6.20±2.31	6.90±1.55
เครื่องทำแห้งแบบถาด	6.20±1.83	5.50±2.26	7.40±1.41	5.65±2.28	6.77±1.46

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส พบว่า การทำแห้งแบบถาดเป็นสภาวะที่สามารถนำมาทดแทนการใช้เตาอบได้ เป็นการช่วยเพิ่มกำลังผลิตได้และลดระยะเวลาในการผลิตได้ โดยกระบวนการผลิตแสดงดังภาพที่ 4.3 และผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต



ภาพที่ 4.4 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

ตารางที่ 4.15 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

รายการตรวจวิเคราะห์	ปริมาณ	วิธีทดสอบอ้างอิง
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี/100 กรัม)	380.34±0.26	In-house method TE-CH-169 based on
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี/100 กรัม)	36.99±0.41	Method of Analysis for Nutrition Labelling (1993) P.106
ไขมันทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	4.11±0.05	In-house method TE-CH-076 based on AOAC (2023) 985.29
ไขมันอิ่มตัว (กรัม/100 กรัม)	2.16±0.02	AOAC (2023) 981.10
คอเรสเตอรอล (กรัม/100 กรัม)	0.00±0.00	In-house method TE-CH-143 based on AOAC (2023) 994.10
โปรตีน (%N × 6.25) (กรัม/100 กรัม)	16.33±0.12	AOAC (2023) 981.10
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)	69.50±0.12	In-house method TE-CH-169 based on Method of Analysis for Nutrition Labelling (1993) P.106
ใยอาหาร (กรัม/100 กรัม)	2.48±0.02	In-house method TE-CH-208 based on AOAC (2023) 996.06
น้ำตาล (กรัม/100 กรัม)	26.83±0.42	In-house method TE-CH-164 based on AOAC (2023) 977.20
วิตามินเอ (ไมโครกรัม/100 กรัม)	0.00±0.00	In-house method TE-CH-134 based on AOAC (2023) 992.06
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.04±0.00	In-house method TE-CH-134 based on AOAC (2023) 942.23
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	<0.025	In-house method TE-CH-257 based on Journal of Agricultural and Food Chemistry, Vol.32 (1984), P. 1326-1331
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	39.39±0.72	In-house method TE-CH-134 based on
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	158.42±1.68	AOAC (2023) 984.27 by ICP-OES technique
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.44±0.02	In-house method TE-CH-134 based on AOAC (2023) 999.10 by ICP-OES technique
ถั่ว (กรัม/100 กรัม)	3.73±0.04	AOAC (2023) 920.153
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	6.33±0.06	AOAC (2023) 981.10

(a)

ข้อมูลโภชนาการ (Nutrition Information)			
หนึ่งหน่วยบริโภค : 1 ซอง (15 กรัม) (Serving size : 1 pack (15 g))			
จำนวนหน่วยบริโภคต่อซอง : 1 (Serving(s) per pack) : 1			
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (Amount per serving)			
พลังงานทั้งหมด 50 กิโลแคลอรี (Total energy 50 kcal) ((พลังงานจากไขมัน 0 กิโลแคลอรี) (Energy from fat 0 kcal))			
			ร้อยละของปริมาณที่แนะนำให้บริโภค* (Percent Thai RDI)
ไขมันทั้งหมด (Total fat)	0.5 ก. (g)		1%
ไขมันอิ่มตัว (Saturated fat)	0 ก. (g)		0%
โคเลสเตอรอล (Cholesterol)	0 มก. (mg)		0%
โปรตีน (Protein)	2 ก. (g)		
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total carbohydrate)	10 ก. (g)		3%
ใยอาหาร (Dietary fiber)	0 ก. (g)		0%
น้ำตาล (Sugars)	4 ก. (g)		
โซเดียม (Sodium)	180 มก. (mg)		9%
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำให้บริโภค* (Percent Thai RDI)			
วิตามินเอ (Vitamin A)	0%	วิตามินบี 1 (Vitamin B1)	0%
วิตามินบี 2 (Vitamin B2)	0%	แคลเซียม (Calcium)	0%
เหล็ก (Iron)	0%		
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี (Percent Thai Recommended Daily Intakes for population over 6 years of age are based on a 2,000 kcal diet.)			
ความต้องการพลังงานของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ผู้ที่ต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้ (Energy needs vary by individuals. If your activities require energy of 2,000 kcal per day, your daily diet should provide the following nutrients.)			
ไขมันทั้งหมด (Total fat)	น้อยกว่า (less than)	65 ก. (g)	
ไขมันอิ่มตัว (Saturated fat)	น้อยกว่า (less than)	20 ก. (g)	
โคเลสเตอรอล (Cholesterol)	น้อยกว่า (less than)	300 มก. (mg)	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total carbohydrate)		300 ก. (g)	
ใยอาหาร (Dietary fiber)		25 ก. (g)	
โซเดียม (Sodium)	น้อยกว่า (less than)	2,000 มก. (mg)	
พลังงาน (กิโลแคลอรี) ต่อกรัม : ไขมัน = 9 ; โปรตีน = 4 ; คาร์โบไฮเดรต = 4 (Energy (kcal) per gram : Fat 9 ; Protein 4 ; Carbohydrate 4)			

(b)

คุณค่าทางโภชนาการต่อ 1 ซอง			
พลังงาน	น้ำตาล	ไขมัน	โซเดียม
50 กิโลแคลอรี	4 กรัม	0.5 กรัม	180 มิลลิกรัม
*2%	*6%	*1%	*9%

* คิดเป็นร้อยละของปริมาณสูงสุดที่บริโภคได้ต่อวัน

ภาพที่ 4.5 ข้อมูลโภชนาการ (a) และฉลาก GDA (b) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีน ข้าวไฮโดรไลเสต 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 4.15 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการ ทำฉลากโภชนาการและฉลาก Guideline Dairy Amount ของผลิตภัณฑ์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 (a) และ (b) ผลิตภัณฑ์นี้สามารถใช้ค่ากล่าวอ้างทางโภชนาการได้ดังนี้ มีไขมันต่ำ เนื่องจากมีปริมาณไขมัน มีพลังงานน้อยกว่า 3 กรัมต่อหน่วยบริโภค และไม่มีคอเรสเตอรอล เนื่องจากมีคอเลสเตอรอลน้อยกว่า 2 มิลลิกรัม และมีไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 2 กรัมต่อหน่วยบริโภค คุณสมบัติเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึง ศักยภาพของผลิตภัณฑ์ในการพัฒนาเป็นอาหารว่างทางเลือกเพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคที่ ให้ความสำคัญกับการควบคุมไขมันและคอเลสเตอรอลในอาหาร นอกจากนี้ ข้อมูลโภชนาการที่ได้ยัง สามารถนำไปใช้ในการจัดทำฉลากโภชนาการแบบเต็ม (Nutrition Facts) (ภาพที่ 5a) และฉลากแสดง ปริมาณสารอาหารที่แนะนำต่อวัน (Guideline Daily Amount: GDA) (ภาพที่ 5b) ซึ่งจะช่วยเพิ่ม ความน่าเชื่อถือและความโปร่งใสของผลิตภัณฑ์ในตลาด รวมถึงสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริโภคใน การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ

รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริม โปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตแสดงดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้เป็นซองอะลูมิเนียมฟอยด์ เนื่องจากสามารถป้องกันการผ่านเข้า-ออกของอากาศและความชื้นได้ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการเก็บ รักษา นานขึ้น การออกแบบเน้นการใช้สีม่วงซึ่งเป็นสีที่สื่อถึงข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร่วมกับการใช้สีเขียว เหลือง ส้ม เนื่องจากเป็นสีที่สื่อถึงความเป็นธรรมชาติ มีการแสดงภาพของผลิตภัณฑ์ที่ฉลากด้านหน้าเพื่อเป็น ข้อมูลหนึ่งให้ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์ เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

รายการวิเคราะห์	ปริมาณ	วิธีวิเคราะห์
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	$<2.5 \times 10^2$ EAPC	FDA BAM Online, 2001 (Chapter 3)
โคลิฟอร์ม (MPN/g)	<0.3	FDA BAM Online, 2017 / Update 2020. (Chapter 4).

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบ พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 2.5×10^2 cfu/g และไม่พบโคลิฟอร์ม (<0.3 MPN/g) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัย อาหารตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมกรอบจากธัญชาติ (มอก. 1534-2541) โดยกำหนด



ภาพที่ 4.7 บรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

4.3 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต ได้เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามกับผู้บริโภค จำนวน 120 คน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลที่เกี่ยวกับการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการรวบรวมแบบสอบถามพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชายและเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 20.0 และร้อยละ 79.2 ตามลำดับ และมีผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 0.8 ที่ไม่ต้องการระบุเพศ ผู้ตอบแบบประเมินในช่วงกลุ่มอายุ 18-20 ปี มีค่าเท่ากับร้อยละ 63.3 รองลงมาคือ 21-25 ปี (ร้อยละ

23.3) ส่วนใหญ่มีการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีร้อยละ 85.8 และส่วนใหญ่มีอาชีพเป็นนักเรียนหรือนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 85.8 โดยผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้ที่มีรายได้ต่อเดือนเฉลี่ย และส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือนในช่วง 5,000-10,000 บาท (ร้อยละ 38.3) รองลงมาคือ ต่ำกว่า 5,000 บาท (ร้อยละ 29.2) 10,001-20,000 บาท (ร้อยละ 20.8) และมากกว่า 20,000 (ร้อยละ 4.2) (ตารางที่ 4.17)

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
1. เพศ		
ชาย	24	20.0
หญิง	95	79.2
ไม่ต้องการระบุ	1	0.8
2. อายุ		
18-20 ปี	76	63.3
21-25 ปี	28	23.3
26-30 ปี	2	1.7
31 ปีขึ้นไป	14	11.7
3. ระดับการศึกษา		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	1	0.8
มัธยมศึกษา	13	10.8
อนุปริญญา	0	0
ปริญญาตรี	103	85.8
สูงกว่าปริญญาตรี	3	2.5
4. อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา	103	85.8
ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ	1	0.8
พนักงานบริษัทเอกชน	8	6.7
ธุรกิจส่วนตัว	2	1.7
อื่น ๆ	6	5.0
5. รายได้ต่อเดือน		
ต่ำกว่า 5,000 บาท	35	29.2

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
5,000 -10,000 บาท	46	38.3
10,001-20,000 บาท	25	20.8
20,000 บาท ขึ้นไป	5	4.2

2) การทดสอบการยอมรับและความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

จากการทดสอบการยอมรับและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตโดยผู้ตอบแบบสอบถามได้ทดสอบชิมและตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับความชอบและความพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ การเกาะติดฟัน และความชอบโดยรวม ผู้ตอบแบบสอบถามให้การยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี อยู่ในระดับยอมรับปานกลาง คะแนนการยอมรับต่อความกรอบและความชอบโดยรวมอยู่ในระดับยอมรับปานกลางถึงมาก ขณะที่คะแนนการยอมรับต่อการเกาะติดฟันอยู่ในระดับน้อยถึงปานกลาง (ตารางที่ 4.18) อย่างไรก็ตาม หากระดับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคอยู่ในระดับคะแนน 6 ขึ้นไปถือว่าผู้บริโภคให้การยอมรับ สำหรับการยอมรับด้านความพอใจที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต พบว่า คุณลักษณะด้านสี ลักษณะปรากฏ ความกรอบ และการเกาะติดฟันได้รับการยอมรับด้านความพอใจอยู่ในระดับพอใจ โดยมีผลคะแนนโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.9-3.0 (ตารางที่ 4.19) จากผลคะแนนการยอมรับจากคะแนนความชอบและความพอใจแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิม

ตารางที่ 4.18 การยอมรับด้านคะแนนความชอบของผู้ตอบแบบสอบถามต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าว
ไฮโดรไลเลต

คุณลักษณะ	จำนวนและสัดส่วนร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้การยอมรับในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์									คะแนนเฉลี่ย	การแปลผลการ
	ไม่ยอมรับมากที่สุด	ไม่ยอมรับมาก	ไม่ยอมรับปานกลาง	ไม่ยอมรับน้อย	เฉยๆ	ยอมรับน้อย	ยอมรับปานกลาง	ยอมรับมาก	ยอมรับมากที่สุด	$\bar{X} \pm S.D.$	ยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	0 (0)	1 (0.8)	1 (0.8)	2 (1.7)	17 (14.2)	14 (11.7)	26 (21.7)	39 (32.5)	20 (16.7)	7.1±1.5	ปานกลาง
สี	0 (0)	0 (0)	3 (2.5)	3 (2.5)	17 (14.2)	8 (6.7)	33 (27.5)	31 (25.8)	25 (20.8)	7.2±1.5	ปานกลาง
ความกรอบ	1 (0.8)	0 (0)	0 (0)	3 (2.5)	11 (9.2)	12 (10.0)	16 (13.3)	33 (27.5)	44 (36.7)	7.6±1.5	ปานกลาง- มาก
การเกาะติดฟัน	3 (2.5)	2 (1.7)	2 (1.7)	6 (5.0)	30 (25.0)	14 (11.7)	25 (20.8)	19 (15.8)	19 (15.8)	6.4±1.9	น้อย-ปาน กลาง
ความชอบโดยรวม	0 (0)	1 (0.8)	0 (0)	1 (0.8)	6 (5.0)	9 (7.5)	28 (23.3)	47 (39.2)	28 (23.3)	7.6±1.2	ปานกลาง- มาก

ตารางที่ 4.19 การยอมรับด้านความพอดีของผู้ตอบแบบสอบถามต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวโฮโดรไล-
เลต

คุณลักษณะ	จำนวนและสัดส่วนร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้การยอมรับในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์					คะแนนเฉลี่ย $\bar{X} \pm S.D.$	การแปลผลการยอมรับ
	อ่อนเกินไปมาก	อ่อนเกินไปเล็กน้อย	พอดี	เข้มเกินไปเล็กน้อย	เข้มเกินไปมาก		
ลักษณะปรากฏ	4 (3.3)	26 (21.7)	70 (58.3)	15 (12.5)	5 (4.2)	2.9±0.8	พอดี
สี	5 (4.2)	29 (24.2)	67 (55.8)	13 (10.8)	6 (5.0)	2.9±0.8	พอดี
ความกรอบ	4 (3.3)	31 (25.8)	63 (52.5)	17 (14.2)	5 (4.2)	2.9±0.8	พอดี
การเกาะติดฟัน	9 (7.5)	22 (18.3)	63 (52.5)	10 (8.3)	16 (13.3)	3.0±1.0	พอดี

3) ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

การสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภค พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 98.3 และผู้ตอบแบบสอบถามที่ไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์เพียงร้อยละ 1.7 (ตารางที่ 4.20) โดยให้เหตุผลว่าผลิตภัณฑ์บางเกินไป และมีรสชาติจืด นอกจากนี้ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ถึงร้อยละ 90.0 (ตารางที่ 4.21) โดยช่วงราคาของผลิตภัณฑ์ปริมาณ 15 กรัมที่ยอมรับได้คือ 25-30 บาท (ร้อยละ 77.5) รองลงมา คือ 30-40 บาท (ร้อยละ 20.8) (ตารางที่ 4.22) สำหรับความคิดเห็นเกี่ยวกับสถานที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 4.23 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามต้องการซื้อผลิตภัณฑ์จากร้านสะดวกซื้อ (ร้อยละ 47.5) รองลงมาคือ ร้านคาเฟ่ (ร้อยละ 25) ซูเปอร์มาร์เก็ต (ร้อยละ 24.2) และห้างสรรพสินค้า (3.3) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์	จำนวน	ร้อยละ
ยอมรับ	118	98.3
ไม่ยอมรับ	2	1.7
รวม		100

ตารางที่ 4.21 ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์	จำนวน	ร้อยละ
ซื้อ	108	90.0
ไม่ซื้อ	1	0.8
ไม่แน่ใจ	11	9.2
รวม		100

ตารางที่ 4.22 ราคาต่อซองที่สนใจซื้อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเลต ขนาด 15 กรัม ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ราคาต่อซองที่สนใจซื้อผลิตภัณฑ์	จำนวน	ร้อยละ
1. ราคา 25-30 บาท	93	77.5
2. ราคา 30-40 บาท	25	20.8
3. ราคา 40-50 บาท	2	1.7
3. ราคา 50-60 บาท	0	0
รวม		100

ตารางที่ 4.23 สถานที่ที่เหมาะสมในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเลตของผู้ตอบแบบสอบถาม

สถานที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์	จำนวน	ร้อยละ
1. ร้านสะดวกซื้อ	57	47.5
2. ซูเปอร์มาร์เก็ต	29	24.2
3. ร้านคาเฟ่	30	25.0
4. ห้างสรรพสินค้า	4	3.3
รวม		88.2

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

1. เทคนิคการทำแห้งแบบโฟม-แมทสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่กลั่นงอกที่มีลักษณะกรอบได้ โดยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตมีส่วนร่วมกันต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่เหมาะสมคือ อัตราส่วน 2:3 และร้อยละ 5 ตามลำดับ

2. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สภาวะการอบแห้งต่างกัน ได้แก่ การอบแห้งโดยการใช้เตาอบและการใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดมีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน ยกเว้นปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดมีปริมาณมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยเตาอบ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการอบแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด ทั้งนี้จะมีประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณการผลิตต่อครั้งได้ด้วย

3. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีไขมันและพลังงานต่ำ และมีโปรตีนข้าวเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับสูงถึงร้อยละ 98.3 และมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์สูงถึงร้อยละ 90 โดยผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงมาก และได้รับการยอมรับด้านความพอดีอยู่ในระดับพอดี ดังนั้น ผลิตภัณฑ์นี้น่าจะมีโอกาสทางการตลาดและสามารถจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเกี่ยวกับการทำแผนธุรกิจเพื่อเป็นการแสดงให้เห็นศักยภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2541). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: ขนมหกรอบจากธัญชาติ (มอก. 1534-2541). กระทรวงอุตสาหกรรม.*
- สูตรรัตน์ เจียมยั่งยืน. (2550). ข้าวกล้อง...งอก, น. 18-19. ใน *รวมผลงานวิจัยข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าว*. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2561). *มหัศจรรย์พันธุ์ข้าวไทย คุณค่าก้าวไกลจากวิถีไทยสู่วิถีโลก (2) ข้าวไรซ์เบอร์รี่: ข้าวอินทรีย์เพื่อสุขภาพ*.
<http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=27430>, 10 เมษายน 2561.
- ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. (2566). ตลาดขนมขบเคี้ยว. <https://fic.nfi.or.th/market-intelligence-detail.php?smid=388>.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Amagliami, L., O'Regan, J., Schmitt, C., Lelly, A. L. & O'Mahony, J. A. (2019). Characterisation of the physiochemical properties of intact and hydrolysed rice protein ingredients. *Journal of Cereal Science*, 88, 16-23.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th ed., Maryland, USA.
- Blaise, P., Phiarais, N. & Arendt, E. K. (2008). Malting and brewing with gluten-free cereals. In E.K. Arendt & F.D. Bello, *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*, (pp. 347-372). Elsevier.
- Chandi, G. K., & Sogi, D. S. (2007). Functional properties of rice bran protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 592-597.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.036>
- Cheng, Y., Jin, X., & Ma, M. (2017). Contribution of water activity and moisture content to the Maillard reaction during hot air drying of potato. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 529-535. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.031>

- Damodaran, S. (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. *Journal of Food Science*, 70(3), R54–R66. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07150.x>
- Febrianto, A., Kumalaningsih, S. & Aswari, A. W. (2012). Process engineering of drying milk powder with foam-mat drying method. A study on the effect of the concentration and types of filler. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(4), 3588-3591.
- Hardy, Z. & Jideani, V. A. (2017). Foam-mat drying technology: A review. *Critical reviews in Food Science and nutrition*. 57(12), 2560-2575.
- Indrawati, L., Wang, Z., Narsimhan, G. and Gonzalez, J. (2008). Effect of processing parameters on foam formation using a continuous system with a mechanical whipper. *Journal of Food Engineering*. 88: 65-69.
- Kandasamy, P., Varadharaju, N., Kalemullah, S. & Maladhi, D. (2014a). Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. *Journal of Food Science. Technologies*, 50(10), 2526–2534.
- Kandasamy, P., Varadharaju, N., Kalemullah, S. and Moitra, R. (2014b). Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. *Asian Journal of Food Agro-Industries*. 5(05), 374-384.
- Labelle, R.L. 1984. Principles of foam mat drying. *Journal Food Technology*, 20, 89–91.
- Li, C., Zhang, R., & Chen, G. (2012). Maillard reaction in food: New insights and health implications. *Food Science and Human Wellness*, 1(2), 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2012.09.001>
- Manthey, F. A. & Xu, Y. (2009). Glycobiology foods – food carbohydrates occurrence, production, food uses and healthful properties, In F. Yiloliz, F., *Advances in Food Biochemistry* (pp. 27–45). CRC Press.
- Nursten, H. E. (2005). *The Maillard Reaction: Chemistry, Biochemistry, and Implications*. The Royal Society of Chemistry.

- Petra, V., Magdalena, H., Jolana, K., & Zuzana, C. (2010). Stability of anthocyanins in black currant juice after thermal treatment and storage. *Chemical Papers*, 64(5), 746–753. <https://doi.org/10.2478/s11696-010-0067-6>
- Pothinuch, P., Jongrattanavit, K., Leelajaruwan, K. & Prichapan, N. (2023). Effect of Anaerobic Germination and Enzymatic Saccharification on Chemical Compositions of Functional Drink from Riceberry Rice. *Journal of Current Science and Technology*. 14(1)
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4)
- Saikusa, T., Horino, T. & Mori, Y. (1994). Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fraction and the effects of water soaking on the distribution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42:1122-1125.
- Thuwapanichayanan, R., S. Prachayawarakorn and S. Soponronarit. (2008). Drying characteristics and quality of banana foam mat. *Journal of Food Engineering*. 86(4): 573-583.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2011). Foam-mat drying of orange juice: Mathematical modeling and the effects of foaming agent and foam density. *Journal of Food Engineering*, 104(4), 657–665. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.003>
- Rio, E., Drenckhan, W., Salonen, A. & Langevin, D. (2013). Unusually stable liquid foams. *Advanced in Colloid and Interface Science*, 205:74–36.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (วิธีการอบแห้ง) (AOAC, 2000)

- 1) อบภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาครอบครอบ (ไม่ปิดฝาครอบ) ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (ประมาณ 15 นาที) และชั่งน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาครอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
- 2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนและจดบันทึก) ในภาชนะอะลูมิเนียม
- 3) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (เปิดฝาภาชนะอะลูมิเนียม)
- 4) ปิดฝาภาชนะอะลูมิเนียมแล้วนำออกจากตู้อบไฟฟ้า ทิ้งให้เย็นหรือลดอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้องในเดซิเคเตอร์ (ประมาณ 10-15 นาที) ชั่งน้ำหนักให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
- 5) นำไปอบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที แล้วทำตามข้อ 4) จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่หรือผลต่างของ น้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดกันต่างกันไม่เกิน 0.001 กรัม จึงจะถือว่าเป็นน้ำหนักสุดท้าย
- 6) คำนวณหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างอาหาร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W} \times 100$$

- เมื่อ
- W คือ น้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาครอบหลังอบ (กรัม)
 - W_1 คือ น้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาครอบหลังอบและน้ำหนักตัวอย่างอาหารก่อนอบ (กรัม)
 - W_2 คือ น้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาครอบหลังอบและน้ำหนักตัวอย่างอาหารหลังอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl (AOAC, 2000)

- 1) ชั่งตัวอย่างอาหาร ปริมาณ 1 กรัม ใส่ในกระดาชกรองแล้วห่อ จากนั้นใส่ลงในหลอดย่อย
- 2) ใส่ K_2SO_4 ปริมาณ 7 กรัม และ Cu_2SO_4 ปริมาณ 0.8 กรัมเพื่อเร่งปฏิกิริยา พร้อมทั้งใส่เม็ด glass bead ด้วย
- 3) เติม Concentrated H_2SO_4 ปริมาณ 15 มิลลิลิตร (ทำใน Hood) จากนั้นปิดฝาหลอดย่อย
- 4) ต่อชุดย่อยเข้าสู่ชุดต่อไอกรดแล้วทำการย่อยจนได้สารละลายใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- 5) เติมน้ำกลั่น ปริมาณ 50 มิลลิลิตร จากนั้นต่อเข้ากับชุดกลั่นซึ่งมีสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 35% ปริมาณ 75 มิลลิลิตร ทำการกลั่นเป็นเวลา 3 นาที แล้วรองรับสิ่งที่กลั่นได้ด้วยขวดรูปชมพู่ซึ่งมีสารละลายกรดบอริก ร้อยละ 4 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร และหยด Mix indicator ลงไป 2-3 หยด
- 6) นำไปไทเทรตด้วยสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งมีการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีแดง ให้ทำการไทเทรต Blank ควบคู่ไปกับตัวอย่างด้วย
- 7) คำนวณหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(T - B) \times 14.007 \times 100 \times N}{W}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times 5.95$$

- เมื่อ T คือ ปริมาณสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 N ที่ใช้ในการไทเทรตของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
- B คือ ปริมาณสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 N ที่ใช้ในการไทเทรตของ Blank (มิลลิลิตร)
- N คือ Normality of titrant W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวิธี Folin-Ciocalteu's reagent (Pothinuch et, al., 2024)

- 1) นำตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสและสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 100 50 20 10 และ 0 ppm (Blank) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มาใส่ในหลอดทดลอง (ใส่แยกหลอด)
- 2) เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 0.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง vortex
- 3) เติมสาร Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและวางทิ้งไว้เป็นเวลา 6 นาที
- 4) เติมสารละลาย Na_2CO_3 7% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex

- 5) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 90 นาที
- 6) วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ควรอยู่ในช่วง 0.1-0.9
- 7) คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกสำหรับการคำนวณ

- 1) สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกที่ระดับเข้มข้น 0, 10, 20, 50 และ 100 ppm
- 2) หาสมการเส้นตรง $y = ax + b$
โดยที่ x คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างเมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (ppm หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร)
 y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร
- 3) คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้และรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อลิตร

4. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Pothinuch et, al., 2024)

- 1) นำตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสและสารละลายมาตรฐาน Trolox ความเข้มข้น 200 100 50 25 10 และ 0 ppm (Blank) ปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร มาใส่ในหลอดทดลอง (ใส่แยกหลอด)
- 2) เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 25 ppm ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและวางทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
- 3) วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ค่าการดูดกลืนแสงควรอยู่ในช่วง 0.1-0.9)
- 4) คำนวณหาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH

การคำนวณ

- 1) สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox ที่ระดับเข้มข้น 0 10 20 50 100 และ 200 ppm
- 2) หาสมการเส้นตรง $y = ax + b$
โดยที่ x คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างเมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox (ppm หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร)
 y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร
- 3) รายงานความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อลิตร

5. การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH differential (Pothinuch et al., 2024)

- 1) นำสารสกัดหรือตัวอย่างน้ำผลไม้ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ pH 1.0 ปริมาณ 4.5 มิลลิลิตร
- 2) ผสมให้เข้ากันและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที
- 3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร
- 4) นำสารสกัดหรือตัวอย่างน้ำผลไม้ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ pH 4.5 ปริมาณ 4.5 มิลลิลิตร
- 5) ผสมให้เข้ากันและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที
- 6) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร
- 7) คำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

การคำนวณ

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH1}} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH4.5}}$$

เมื่อ

A = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำผลไม้

A_{510} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

A_{700} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร

$$TA = \frac{A \times M_w \times DF \times 1,000}{\epsilon \times L}$$

TA = ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด(มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

M_w = มวลโมเลกุลของสารมาตรฐานไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (449.2)

DF = Dilution factor

ϵ = ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (26,900)

L = ระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง (1เซนติเมตร)







ภาพผนวกที่ ข1 วัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต



ภาพผนวกที่ ข2 ขั้นตอนการปั่นผสมวัตถุดิบและกรองผ่านตะแกรงเพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส



ภาพผนวกที่ ข3 ขั้นตอนการตีส่วนผสมและตีอากาศให้เกิดลักษณะโฟมก่อนนำไปอบแห้ง



ภาพผนวกที่ ข4 ขั้นตอนการขึ้นรูปส่วนผสมโดยใช้พิมพ์รูวงกลม



ภาพผนวกที่ ข5 ขั้นตอนการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้เตาอบไฟฟ้า



ภาพผนวกที่ ข6 ขั้นตอนการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด



ภาพผนวกที่ ข7 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้ง



ภาพผนวกที่ ข8 ขั้นตอนการคลุกผงปรุงรสให้กับผลิตภัณฑ์



ภาพผนวกที่ ข9 ขั้นตอนอบไล่ความชื้นหลังการคลุกผงปรุงรส



แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ขนมขี้เยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

แบบทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณลักษณะและสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมขี้เยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่มีต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามจะนำไปใช้เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น จึงขอความร่วมมือจากท่าน ในการตอบแบบสอบถาม และผู้ศึกษาค้นคว้าขอขอบคุณท่านที่ได้สละเวลาตอบแบบสอบถามมา ณ โอกาสนี้อย่างสูง

แบบทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แบบประเมินความชอบของผู้บริโภค

ส่วนที่ 2 แบบประเมินระดับความกรอบของผลิตภัณฑ์

แบบประเมินความชอบของผู้บริโภค

คำแนะนำ กรุณาให้ คะแนนความชอบ ในแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่าง ตามสเกลที่กำหนดให้

- | | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1 = ไม่ชอบมากที่สุด | 2 = ไม่ชอบมาก | 3 = ไม่ชอบปานกลาง |
| 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย | 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ | 6 = ชอบเล็กน้อย |
| 7 = ชอบปานกลาง | 8 = ชอบมาก | 9 = ชอบมากที่สุด |

	232	640	789	535	348	496
ลักษณะปรากฏ						
ฉลาก						
ความกรอบ						
การเกาะติดฟันหลังเคี้ยว						
ความชอบโดยรวม						

ข้อเสนอแนะ:

.....

.....

แบบประเมินการทดสอบแบบให้คะแนนระดับความกรอบ (Scoring test)

ผลิตภัณฑ์ : ขนมอบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกเสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

คำแนะนำ : กรุณาให้ คะแนนระดับความกรอบ ของผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่าง

	232	640	789	535	348	496
1 = กรอบน้อยที่สุด						
2 = กรอบน้อย						
3 = กรอบปานกลาง						
4 = กรอบมาก						
5 = กรอบมากที่สุด						

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ



แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

แบบทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณลักษณะและสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่มีต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามจะนำไปใช้เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น จึงขอความร่วมมือจากท่าน ในการตอบแบบสอบถาม และผู้ศึกษาค้นคว้าขอขอบคุณท่านที่ได้สละเวลาตอบแบบสอบถามมา ณ โอกาสนี้เป็นอย่างสูง

แบบทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แบบประเมินความชอบของผู้บริโภค

ส่วนที่ 2 แบบประเมินระดับความกรอบของผลิตภัณฑ์

แบบประเมินความชอบของผู้บริโภค

คำแนะนำ กรุณาให้ คะแนนความชอบ ในแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่าง ตามสเกลที่กำหนดให้

- | | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1 = ไม่ชอบมากที่สุด | 2 = ไม่ชอบมาก | 3 = ไม่ชอบปานกลาง |
| 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย | 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ | 6 = ชอบเล็กน้อย |
| 7 = ชอบปานกลาง | 8 = ชอบมาก | 9 = ชอบมากที่สุด |

ลักษณะปรากฏ	.....	.....
สี	.....	.....
ความกรอบ	.....	.....
การเกาะติดฟันหลังเคี้ยว	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....

ข้อเสนอแนะ: (มีต่อด้านหลัง)

แบบประเมินการทดสอบแบบให้คะแนนระดับความกรอบ (Scoring test)

ผลิตภัณฑ์ : ขนมอบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกเสริมโปรตีนข้าวโอโตรไลสเสด

คำแนะนำ : กรุณาให้ คะแนนระดับความกรอบ ของผลิตภัณฑ์ โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่าง

	232	535
1 = กรอบน้อยที่สุด		
2 = กรอบน้อย		
3 = กรอบปานกลาง		
4 = กรอบมาก		
5 = กรอบมากที่สุด		

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ



ตอนที่ 2 : ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่น่าเสนอ และให้คะแนนความชอบ 1-9 คะแนนให้ตรงตามความรู้สึกของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยเขียนลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ มีเกณฑ์กำหนดการให้คะแนนดังนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด	2 = ไม่ชอบมาก	3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	5 = เฉยๆ	6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง	8 = ชอบมาก	9 = ชอบมากที่สุด

2.1 ด้านคะแนนความชอบ

ปัจจัย	คะแนนความชอบ
ลักษณะปรากฏ	
สี	
ความกรอบ	
การเกาะติดฟันหลังเคี้ยว	
ความชอบโดยรวม	

2.2 ด้านระดับความพอดีของผลิตภัณฑ์

คุณลักษณะทิศทางความพอดีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อ่อนเกินไปมาก (1) อ่อนเกินไปเล็กน้อย (2) พอดี (3) เข้มเกินไปเล็กน้อย (4) เข้มเกินไปมาก (5)

ปัจจัย	คะแนนความพอดี
ลักษณะปรากฏ	
สี	
กลิ่นรส	
ความกรอบ	

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่
งอกผสมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสต

ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

() ยอมรับ () ไม่ยอมรับ เพราะ

ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผสมโปรตีนข้าวขนาด 15
กรัมควรมีราคาอยู่ในช่วงใด

() 25 - 30 บาท () 30 - 40 บาท
() 40 - 50 บาท () 50 - 60 บาท

ท่านคิดว่าสถานที่เหมาะสมในการจำหน่ายขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผสมโปรตีนข้าว
ไฮโดรไล-เสต ควรเป็นสถานที่ใด

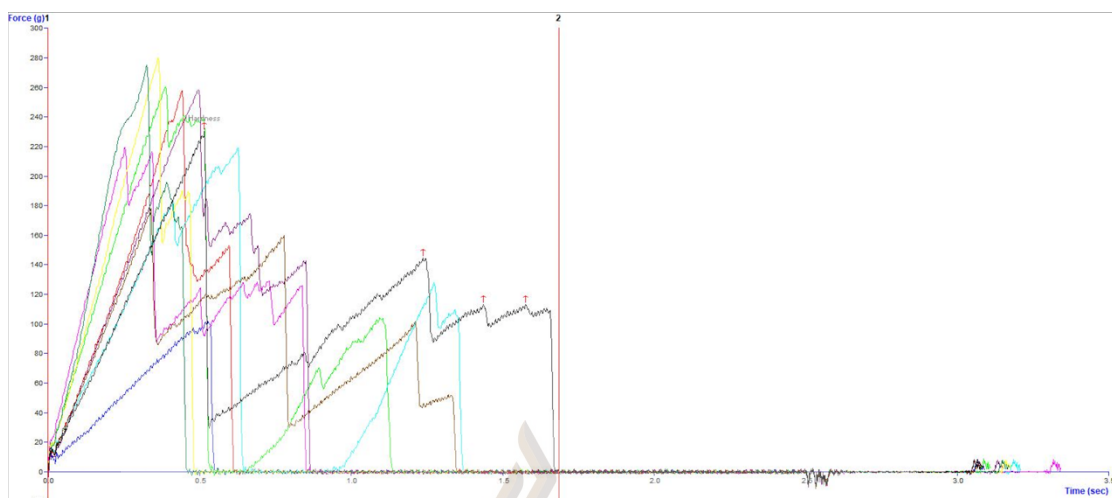
() ร้านสะดวกซื้อ () ซูเปอร์มาร์เก็ต
() ร้านกาแฟ () ห้างสรรพสินค้า

ถ้าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกผสมโปรตีนข้าว ออกวางจำหน่ายใน
ท้องตลาดท่านคิดว่า จะซื้อบริโภคหรือไม่

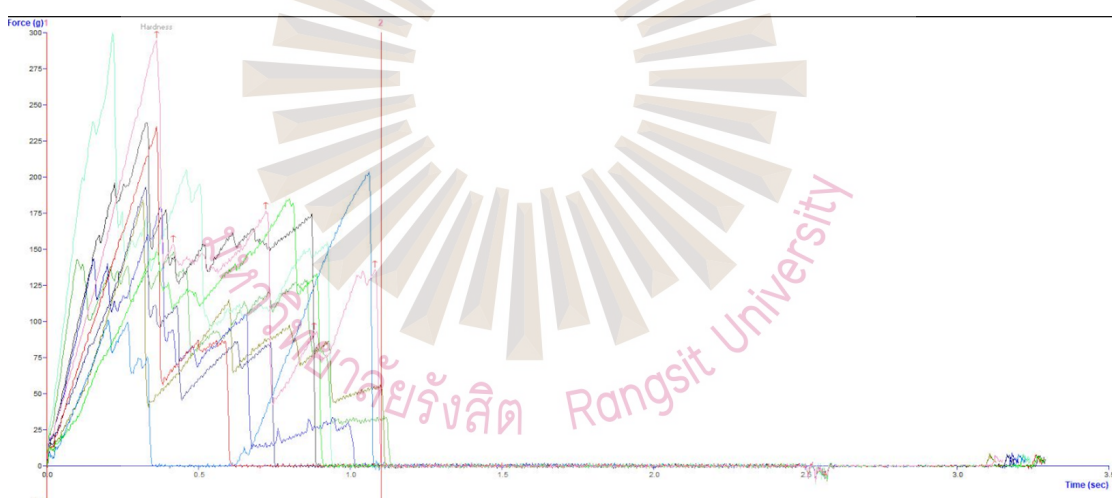
() ซื้อ () ไม่ซื้อ () ไม่แน่ใจ

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์
(Texture Profile Analysis)

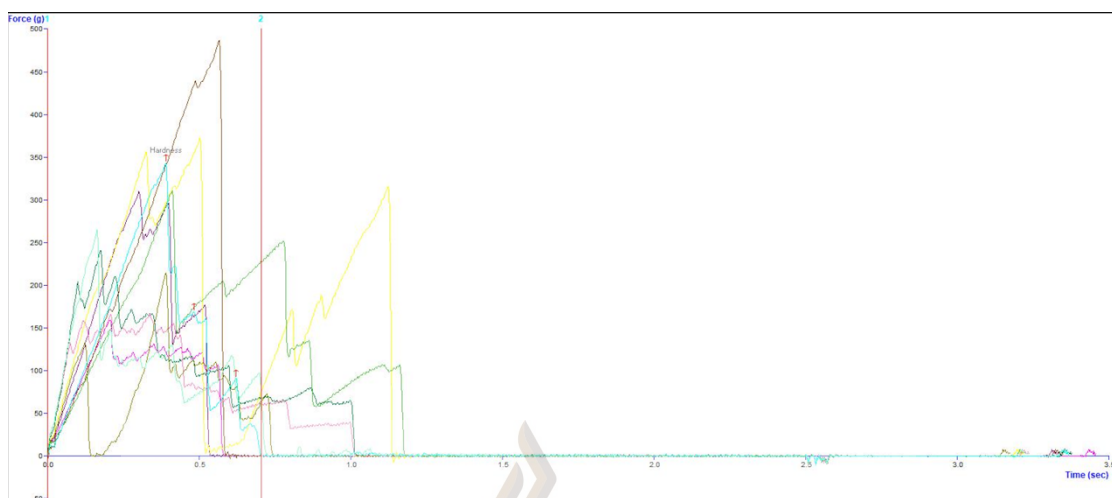
มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



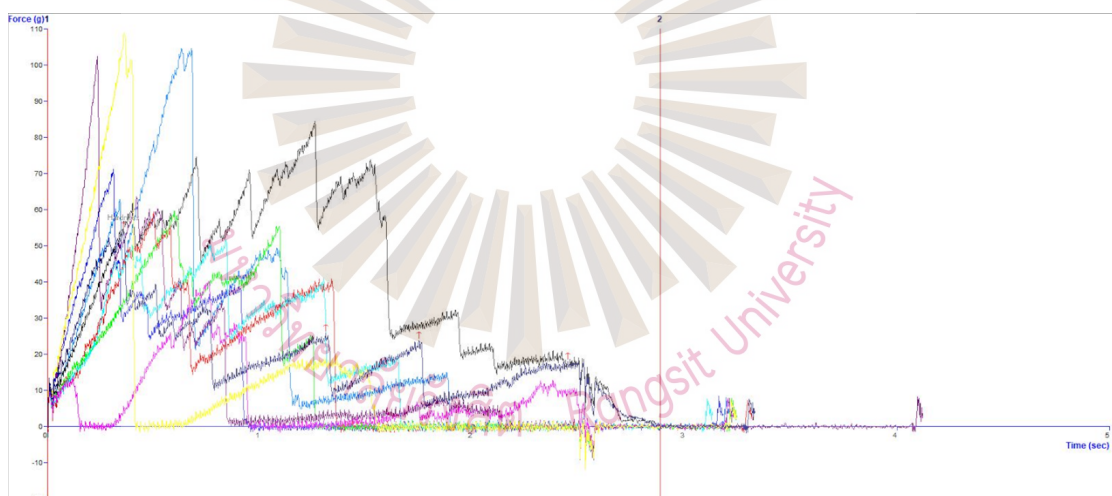
ภาพผนวก ง1 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:1 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 2.5



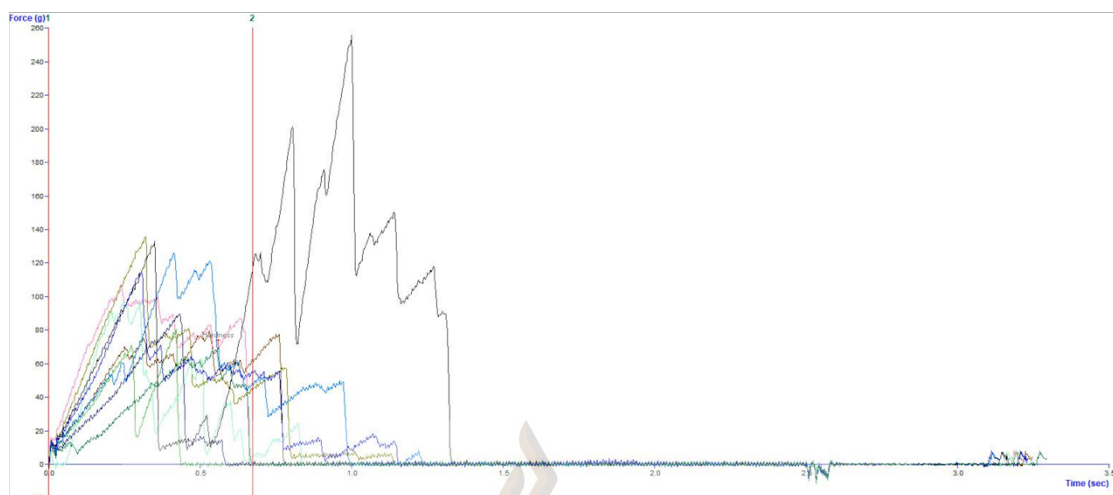
ภาพผนวก ง2 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:1 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 5



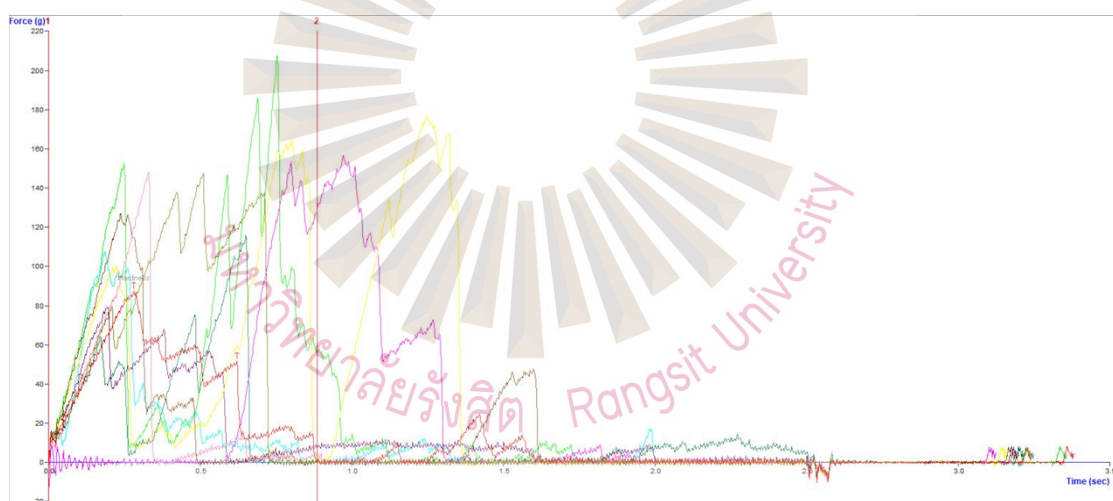
ภาพผนวก ง3 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:1 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 8



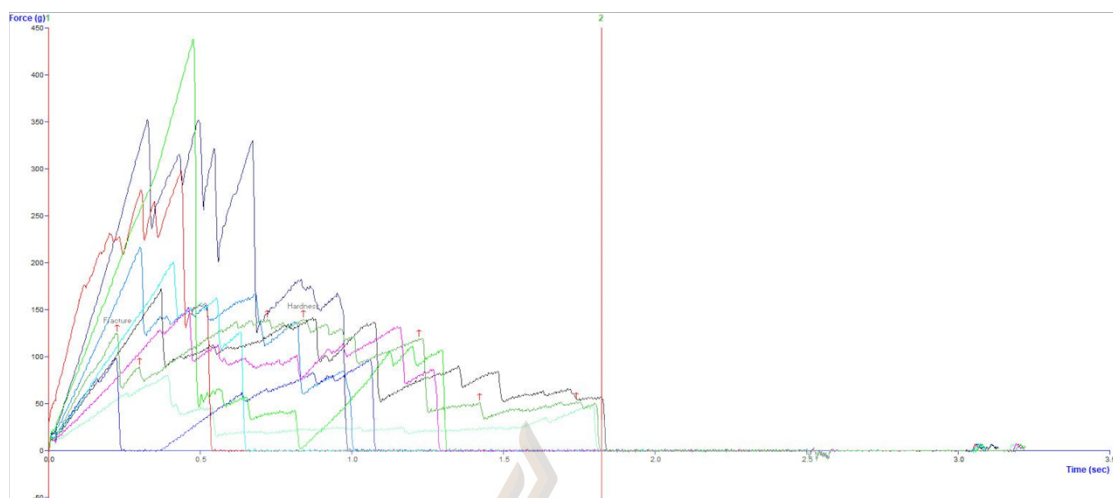
ภาพผนวก ง4 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 2:3 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 2.5



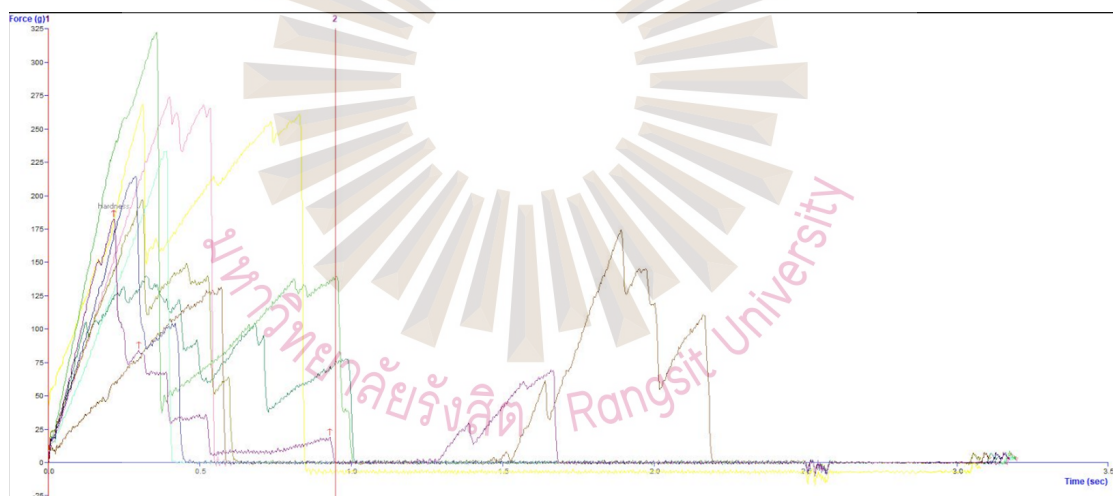
ภาพผนวก ง5 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 2:3 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 5



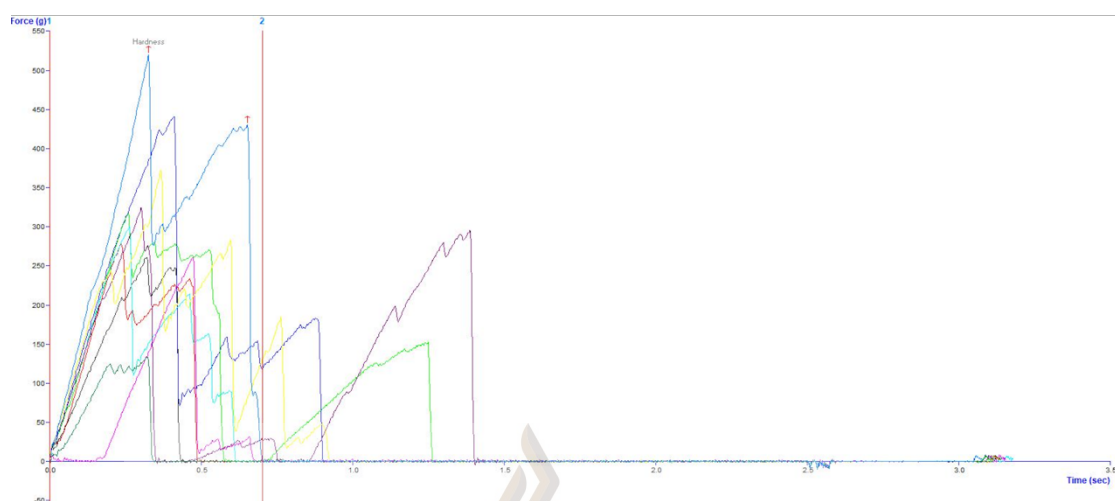
ภาพผนวก ง6 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 2:3 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 8



ภาพผนวก ง7 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 2.5



ภาพผนวก ง8 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 5



ภาพผนวก ง9 Texture Profile analysis ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ เสริมโปรตีนข้าวไฮโดรไลเสตที่ใช้อัตราส่วนข้าวสุกต่อน้ำ 1:2 ร่วมกับโปรตีนไฮโดรไลเสต ร้อยละ 8

ประวัติผู้วิจัย

คำนำหน้า ☐ นาย ☐ นาง ☒ นางสาว
 ตำแหน่งทางวิชาการ ☐ ศ. ☐ รศ. ☐ ผศ. ☒ อื่นๆอาจารย์.....
 ชื่อ-นามสกุลผู้วิจัย พิชญา โพธิ์นุช
 ชื่อ-นามสกุลภาษาอังกฤษ Pitchaya Pothinuch
 วัน/เดือน/ปีเกิด 18 กันยายน 2526
 ที่อยู่ 96/51 หมู่ 7 ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
 โทรศัพท์ 083-029-6963
 ที่อยู่ (ที่ทำงาน) 52/347 เมืองเอก ถนนพหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
 โทรศัพท์ (ที่ทำงาน) 02-997-2200 ต่อ 3211
 แฟกซ์ (ที่ทำงาน) 02-997-2200 ต่อ 3430
 E-mail pitchaya.p@gmail.com

ปริญญาตรี

สาขาที่จบ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
 ปีที่จบ พ.ศ. 2550
 สถาบัน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ประเทศ ประเทศไทย

ปริญญาโท

สาขาที่จบ วิทยาศาสตร์การอาหาร
 ปีที่จบ พ.ศ. 2553
 สถาบัน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ประเทศ ประเทศไทย

ปริญญาเอก

สาขาที่จบ วิทยาศาสตร์การอาหาร
 ปีที่จบ พ.ศ. 2560
 สถาบัน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ประเทศ ประเทศไทย

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

1. **Pothinuch, P.**, Promson, J., Sablani, S. S. & Harnkarnsujarit. 2024. Antioxidant release, morphology and packaging properties of gallic acid incorporated biodegradable PBAT blended PBS active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. 43 : 101304.
2. Nguyen, H. T., Miyamoto, A., Hoang, H. T., Vu, T. T. T., **Pothinuch, P.**, Nguyen, H. T. T. (2024). Effects of Maturation on Antibacterial Properties of Vietnamese Mango (*Mangifera indica*) leaves. *Molecules*. 29: 1443.
3. **Pothinuch, P.**, Jongrattanavit, K., Leelajaruwan, K. & Prichapan, N. (2023). Effect of Anaerobic Germination and Enzymatic Saccharification on Chemical Compositions of Functional Drink from Riceberry Rice. *Journal of Current Science and Technology*. 14(1). <https://doi.org/10.59796/jcst.V14N1.2024.2>
4. Nguyen, H. T., Wu, S., Ootawa, T., Nguyen, H. C., Tran, H. T., **Pothinuch, P.**, Phạm, H. T. T., Do, A. T. H., Hoang, H. T., Islam, Md. Z., Miyamoto, A., & Thanh, H. N. (2023). Effects of Roasting Conditions on Antibacterial Properties of Vietnamese Turmeric (*Curcuma longa*) Rhizomes. *Molecules*. 28(21): 7242.
5. Jongrattanavit, K., **P. Pothinuch**, S. Pichaiyongvongdee, N. Nukit & N. Bangsiri. 2021. Production development of germinated black glutinous rice drink in a sachet as affected by roasting time and brewing time. **Journal of Food Health and Bioenvironmental Science**. 14(1): 9-19.
6. **Pothinuch, P.** and S. Tongchitpakdee. 2019. Phenolic analysis for classification of mulberry leaves according to cultivar and leaf age. **Journal of Food Quality**. Doi.org/10.1155/2019/2807690.
7. **Pothinuch, P.**, A. Miyamoto, H. T. T. Nguyen and S. Tongchitpakdee. 2017. Vasodilatory effects of mulberry (*Morus* spp.) leaf extract on porcine cerebral arteries in vitro: Possible underlying mechanism. **Journal of Functional Foods**. 38 Part A: 151-159
8. Nguyen, H.T., H.T. Nguyen, M.Z. Islam, T. Obi, **P. Pothinuch**, P.P. Zar, X. Hou de, T.V. Nguyen, T.M. Nguyen, C.V. Dao, M. Shiraishi and A. Miyamoto. 2016. Pharmacological characterization of *Artemisia vulgaris* L. in isolated porcine basilar artery. **Journal of Ethanopharmacology**. 18216-18226.

9. Nguyen, H.T., H.T. Nguyen, M.Z. Islam, T. Obi, **P. Pothinuch**, T.V. Nguyen, T.M. Nguyen, C.V. Dao, M. Shiraishi and A. Miyamoto. 2016. Antagonistic effects of ginkgo biloba and Sophora japonica on cerebral vasoconstriction in response to histamine, 5-hydroxytryptamine, U46619 and bradykinin. **American Journal of Chinese Medicine**. 16: 1-19.
10. **Pothinuch, P.**, S. Tongchitpakdee. 2011. Melatonin contents in mulberry (*Morus* spp.) leaves: Effects of sample preparation, cultivar, leaf age and tea processing. **Food Chemistry**. 128(2): 415–419.

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมทางวิชาการ

1. งานวิจัย เรื่อง ผลของอัตราส่วนข้าวต่อน้ำและปริมาณเซลล์โลสตัดแปลงต่อการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าว ในงานมหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ 2564 ครั้งที่ 16 วันที่ 25 พฤศจิกายน 2564
2. งานวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องต้มให้พลังงานจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ร็อก นำเสนอในงานการประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 13 “โภชนาการและวิถีชีวิตเพื่อสุขภาวะ” วันที่ 1-3 ตุลาคม 2562
3. งานวิจัย เรื่อง Melatonin in mulberry leaves: Effects of cultivar and leaf age นำเสนอในงาน The 6th Conference Thailand – Taiwan Academic Cooperation Food and Agriculture Innovation, Kasetsart University, Bangkok, พ.ศ. 2553
4. งานวิจัย เรื่อง การสกัดและวิเคราะห์เมลานินในสมุนไพรไทย (Extraction and determination of melatonin in Thai herbs) นำเสนอในงาน The 48th Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart University, Bangkok, พ.ศ. 2552
5. งานวิจัยเรื่อง Effects of cultivar and leaf age on phenolic compounds and angiotensin converting enzyme inhibitory activity of mulberry leaves (*Morus* spp.) นำเสนอในงาน Joint Symposium on Food Science and Technology between National University of Singapore and Kasetsart University, National University of Singapore, ประเทศสิงคโปร์ ปี พ.ศ. 2559
6. งานวิจัยเรื่อง Vasoactive effect of mulberry (*Morus alba*) leaves on brain artery นำเสนอในงาน 2013 Annual Meeting of Korean Society of Food Science and technology, Cheonan Art Center and Huracle Resort, Cheonan, ประเทศเกาหลีใต้

สาขาที่นักวิจัยเชี่ยวชาญ เคมีอาหาร การวิเคราะห์อาหาร และโภชนาการอาหาร