

การศึกษาคุณสมบัติผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป Study of Instant Organic Jasmine Rice Porridge Properties

สุมาลี มุสิก^{1*} ชมพูนุช ข้องลา¹ จิรายุส วรรัตน์โกศา¹ พิมพา สร้อยสูงเนิน¹ วรพงษ์ บัวเงิน¹
อาทิตย์ อัสวสุชี¹ เพลงพิน เพียรภูมิพงศ์² และดุซงญ ติเยมเทศ บุญมาสูงทรง³
Sumalee Musika^{1*} Chompoonuch Khongla¹ Jirayus Woraratphoka¹
Phimpha Soisungnoen¹ Worapong Buangern¹ Artit Ausavasukhi¹
Plengpin Pienpoompong² and Dusadee Teimtes Boonmasungsong³

Received: March 28, 2020; Revised: July 15, 2020; Accepted: July 17, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหัก โดยเติมเอนไซม์พุลูลาเนส และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเปรียบเทียบกับโจ๊กข้าวหอมมะลิสำเร็จรูปทางการค้า พบว่าโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำและปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูงกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผู้ทดสอบชิมมีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.07 ± 1.83 และ 6.73 ± 1.34) เมื่อนำโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปมาเป็นส่วนผสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสได้ พบว่าผลิตภัณฑ์มีความขึ้นสูงกว่าขณะที่ค่าดัชนีการดูดซับน้ำต่ำกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิสำเร็จรูปปรุงรสได้ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบโดยรวมโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสได้อยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.46 ± 1.20) นอกจากนี้โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสได้มีร้อยละปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 12.15 3.12 75.34 และ 378.05 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณเหล็ก แคลเซียม โซเดียม วิตามินบี1 และวิตามินเอ เท่ากับ 1.01 19.16 1,765 0.03 และ 63.42 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

¹ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

² คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

³ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

¹ Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

² Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

³ Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

* Corresponding Author E - mail Address: musika_noi@hotmail.com

งานวิจัยนี้บ่งชี้ว่า ผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยและดัชนีการดูดซึมน้ำที่ดี แต่อย่างไรก็ตาม ควรพัฒนารสชาติและเนื้อสัมผัสให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

คำสำคัญ : ข้าวหอมมะลินทรีย์; โจ๊ก; การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

Abstract

The objective of this research was to study the physical, chemical and sensory properties of instant organic jasmine rice porridge from broken rice by adding pullulanase enzyme and dried using drum dryer, comparing the quality with commercial instant jasmine rice porridge. The results showed that the water absorption index (WAI) and the resistant starch content of instant organic jasmine rice porridge were higher than commercial instant jasmine rice porridge ($p < 0.05$). Sensory evaluation revealed that the overall acceptability score of instant organic jasmine rice porridge and commercial instant jasmine rice porridge were slightly like (6.07 ± 1.83 and 6.73 ± 1.34). Instant organic jasmine rice porridge with chicken product was developed by using instant organic jasmine rice porridge as an ingredient. As a result, the moisture content was higher, while the WAI was significantly lower than commercial instant rice porridge with chicken ($p < 0.05$). Sensory evaluation showed the overall acceptability score of instant organic jasmine rice porridge with chicken was moderately like (7.46 ± 1.20). In addition, the nutritional value of instant organic jasmine rice porridge with chicken had protein, fat, carbohydrate and energy of 12.15, 3.12, 75.34 % and 378.05 kcal/100 g, respectively. The amount of iron, calcium, sodium, vitamin B1 and vitamin A were 1.01, 19.16, 1,765, 0.03, and 63.42 mg/100 g, respectively. The current research indicates that this organic jasmine rice porridge contains high resistant starch and WAI, suggesting health benefits of this porridge. However, there is still room for improvement in the taste and texture of the organic jasmine rice porridge to gain the better consumer acceptability and to develop this porridge as a health food product.

Keywords: Organic Jasmine Rice; Porridge Rice; Drum Dryer

บทนำ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลินครคง ตำบลหนองมะนาว อำเภอคง จังหวัดนครราชสีมา เป็นกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ โดยมีผลิตภัณฑ์ข้าวสารอินทรีย์และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวจำหน่ายให้กับผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ นอกจากนั้นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลินครคงยังมีโรงสีข้าวชุมชนและ

เป็นผู้รับซื้อข้าวเปลือกอินทรีย์จากสมาชิกและเครือข่าย ข้าวหักที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสีข้าว มีราคาจำหน่ายที่ต่ำกว่าข้าวเต็มเมล็ด แต่อย่างไรก็ตามข้าวหักยังมีสารอาหารอยู่ค่อนข้างมาก ดังนั้น ข้าวหักจึงเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวหัก แนวทางหนึ่งในการผลิตโจ๊กข้าวสำหรับเป็นอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพแก่ผู้บริโภคควรคำนึงถึงปริมาณแป้งต้านทานการย่อย (Resistant Starch) การเกิดแป้งต้านทานการย่อยชนิดที่ 3 ส่วนใหญ่เกิดจากการรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ของโมเลกุลอะมิโลส โดยเมื่อให้ความร้อนแก่แป้งเพื่อทำให้แป้งสุกแล้วทิ้งให้แป้งเกิดการเย็นตัวลง โมเลกุลของแป้งส่วนอะมิโลสที่ละลายออกมาจะเกิดการจับเรียงตัวใหม่เป็นโครงสร้างแบบ Double Helix Complex ซึ่งเป็นผลึกที่แข็งแรงและสามารถทนต่อการย่อยของเอนไซม์ได้ [1] นอกจากนี้ยังมีการใช้เอนไซม์ในการตัดกิ่ง (Debranching Enzyme) เช่น เอนไซม์พูลูลานเนส (Pullulanase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้ตัดพันธะ α -1,6 ของพอลิกลูแลนและอะมิโลเพคติน โดยสามารถย่อยได้สายกลูโคสที่มีความยาว 2-3 หน่วย ซึ่งสามารถเพิ่มศักยภาพในการเกิดแป้งต้านทานการย่อยจากแป้งชนิดที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ในปัจจุบันการดำเนินชีวิตของผู้บริโภคเริ่มเปลี่ยนไป ต้องการความสะดวก รวดเร็วมากขึ้นในการปรุงหรือรับประทานอาหาร และโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปยังเหมาะกับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย เหมาะสำหรับผู้วย สามารถรับประทานได้ตลอดเวลา ทำให้ตลาดโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ในกระบวนการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปต้องผ่านกระบวนการทำแห้งโดยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นการทำแห้งอย่างหนึ่งที่ใช้ในการผลิตอาหารกึ่งสำเร็จรูปโดยจะเปลี่ยนผลิตภัณฑ์จากอาหารเหลวชั้นหนืดไปเป็นผง ระบบของการทำแห้งจะอาศัยหลักการนำความร้อนของลูกกลิ้งถ่ายเทความร้อนไปยังอาหาร ทำให้อาหารแห้ง น้ำสามารถระเหยออกได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น จึงทำให้คุณค่าทางสารอาหารคงอยู่แม้จะผ่านความร้อน เนื่องจากอาหารสัมผัสกับผิวลูกกลิ้งโดยตรงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแผ่นแห้ง ซึ่งจะแตกเป็นผงได้ง่ายในภายหลัง ทำให้ง่ายต่อการบริโภคและเก็บรักษาได้นานขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำข้าวหักที่เป็นข้าวหอมมะลินทรีย์มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปโดยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งและนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี ปริมาณแป้งทั้งหมด ปริมาณแป้งต้านทานการย่อย ดัชนีน้ำตาล ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึก ตรวจสอบรูปร่างด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส จากนั้นนำโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปมาเค็ม ส่วนผสมแห้งต่าง ๆ สำหรับเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรุงรส เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี ทดสอบประสาทสัมผัส โดยเปรียบเทียบกับโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้า และทดสอบคุณค่าทางโภชนาการ เพื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลินครคงจะได้นำไปพัฒนาเป็นสินค้าที่เป็นอัตลักษณ์ของกลุ่ม และจำหน่ายให้กับผู้บริโภค ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์อีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส
2. เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่
3. เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุ และอุปกรณ์

ข้าวหักหอมมะลินิทรีย จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลินครคง อำเภอกอง จังหวัดนครราชสีมา เอนไซม์ Pepsin, Pancreatin และ Myloglucosidase ซื้อจากบริษัท Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, ประเทศสหรัฐอเมริกา Glucose Oxidase-Peroxidase Reagent (GOPOD Assay Kit) ซื้อจากบริษัท (Megazyme, Ireland) Bray Business Park, Bray, Co., Wicklow, ประเทศไอร์แลนด์ และเอนไซม์ Pullulanase (EC 3.2.1.41) ซื้อจากบริษัท iKnowZyme, Reach Bio Technology, Co., BKK, ประเทศไทย

2. การเตรียมใจักข้าวอินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป

ซึ่งข้าวหักหอมมะลินิทรีย 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 6 ลิตร ต้มที่อุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 - 30 นาที จนข้าวสุก ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และย่อยด้วยเอนไซม์ Pullulanase ที่ระดับร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Twin Drum Dryer, TKKTD3040, Thailand) ที่สภาวะอุณหภูมิ 130 - 140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที เนื่องจากสภาวะดังกล่าวให้ผลผลิต (Yield) สูงจากการทดลองเบื้องต้น จากนั้นนำแผ่นโຈ็กที่ได้ไปอบต่อในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง นำแผ่นโຈ็กที่ได้มา บดด้วยเครื่องบด และใช้เป็นตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์และทดสอบต่อไป สำหรับผลิตภัณฑ์โຈ็กข้าวหอมมะลินิทรียไม่ปรุงรสทางการค้าผ่านการทำแห้งโดยใช้เครื่องเอกซ์ทราดเดอร์ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองและดูดน้ำได้ดี

3. การเตรียมส่วนผสมแห้ง

การทำแห้งส่วนผสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์โຈ็กข้าวหอมมะลินิทรียกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสได้ โดยวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Mettert, UF110, Germany) ส่วนผสมที่ใช้ในการปรุงแต่ง ผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติ ได้แก่ เนื้อไก่ แครอท พริกทอง ต้นหอม ชিং และกระเทียม เตรียมส่วนผสมแห้งตามวิธีของ Niyomwet, P., Sappasit, P., Waree, A., and Khongsit, P. [2] เตรียมเนื้อไก่โดยชั่งอกไก่ 1 กิโลกรัม เติมน้ำสะอาดปริมาตร 1.5 ลิตร เติมน้ำมัน 10 กรัม น้ำตาล 10 กรัม จากนั้นเคี่ยวด้วยอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส 15 นาที เติมน้ำข้าว 50 มิลลิลิตร เคี่ยวต่อ 15 นาทีจนสุก เสร็จแล้วนำไปฉีกเป็นเส้นยาว 2.5 เซนติเมตร หนา 0.2 เซนติเมตร ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 - 24 ชั่วโมง เพื่อให้ส่วนผสมแห้งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 [2] สำหรับแครอทและพริกทองหั่นเป็นลูกเต๋ารูปร่าง 0.5 x 0.5 x 0.5 เซนติเมตร และนำไปนึ่งผ่านไอน้ำนาน 10 นาที ส่วนต้นหอมและกระเทียมหั่นขนาด 0.3 x 0.3 x 0.5 เซนติเมตร ชিংหั่นขนาด 0.2 x 1 x 0.2 เซนติเมตร จากนั้นทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Mettert, UF110, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 - 24 ชั่วโมง นำชিংและกระเทียมอบแห้งมาปั่นให้ละเอียดเป็นผง

4. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพเคมีโຈ็กข้าวหอมมะลินิทรียกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสและส่วนผสมแห้ง

4.1 การวิเคราะห์ความชื้น วิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างโຈ็กข้าวหอมมะลินิทรียกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสและส่วนผสมแห้งตามวิธีของ AOAC [3]

4.2 การวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water Activity, a_w) วัดค่า a_w ของตัวอย่างโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กิ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสและส่วนผสมแห้ง ทำการทดสอบด้วยเครื่องวอเตอร์แอกติวิตี (AQUALAB 4TE, dew point water activity meter, USA) วัดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4.3 ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI) วัดดัชนีการดูดซับน้ำของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กิ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส ตามวิธีของ Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., and Griffin, E. L. [4] ซึ่งโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กิ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส ปริมาณ 2.5 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 460 xg เป็นเวลา 15 นาที แยกน้ำส่วนใสด้านบนออก และนำหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมส่วนที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าดัชนีการดูดซับน้ำดังสมการที่ (1)

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI)} = \frac{\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \quad (1)$$

ส่วนการหาดัชนีการดูดซับน้ำของส่วนผสมแห้งทำตามวิธีของ Prakash, S., Jha, S. K., and Datta, N. [5] ซึ่งส่วนผสมแห้ง 5 กรัม ใส่ลงในน้ำเดือด 150 มิลลิลิตร คัมนาน 5 นาที แยกตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักสุดท้าย ดัชนีการดูดซับน้ำ = น้ำหนักสุดท้าย / น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น

5. การวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด (Total Starch)

วิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด โดยใช้ Total Starch Kit (Megazyme) ตามวิธีของ AOAC 996.11 และ AACC 76-13.01 โดยซึ่งตัวอย่างโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กิ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสและโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กิ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า 100 มิลลิกรัม เติมน้ำ 80 % เอทานอลปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำละลาย 1.7 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 2 มิลลิลิตร กวนตัวอย่างด้วย Magnetic Stirrer ในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งตัวอย่างจะละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 600 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร และเติมเอนไซม์ Thermostable α -Amylase ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตามด้วยเอนไซม์ Amyloglucosidase ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส 30 นาที แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล D-glucose ด้วย GOPOD reagent โดยปิเปตตัวอย่างไป 0.1 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย GOPOD reagent ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร บ่มที่สภาวะ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นคำนวณปริมาณแป้งทั้งหมด (Total Starch) ดังสมการที่ (2)

$$\text{Total Starch (กรัม/ 100 กรัมแป้ง)} = \Delta A \times F \times \frac{100}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \quad (2)$$

โดยที่

ΔA = ค่าการดูดกลืนแสงเมื่ออ่านเทียบกับ blank
 F = Factor ที่ใช้เปลี่ยนหน่วยจากค่าการดูดกลืนแสงเป็นไมโครกรัมของน้ำตาลกลูโคส ($F = 96.6884$)

$$100/0.1 = \text{Volume Correction (0.1 mL taken from 100 mL)}$$

- $1/1000$ = ค่าการเปลี่ยนหน่วยจากไมโครกรัมเป็นมิลลิกรัม
 W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างในหน่วยมิลลิกรัม
 $= \text{Weight} \times [(100 - \text{Moisture Content}) / 100]$
 $100/W$ = ค่าการเปลี่ยนหน่วยเป็น %
 $162/180$ = Factor สำหรับเปลี่ยน Free D-glucose เป็น Anhydro-Glucose

6. การวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาล (Estimated Glycemic Index; eGI)

วิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาล ตามวิธีของ Na-Nakorn, K., Kulrattanarak, T., Hamaker, B. R., and Tongta, S. [6] และ Sopade, P. A. and Gidley, M. J. [7] โดยชั่งตัวอย่างคัมสุกแล้ว 0.5 กรัม เติมสารละลายเอนไซม์ α -Amylase (Porcine Pancreatic α -Amylase, 250 ยูนิต/มิลลิกรัม, 20 มิลลิโมลาร์โซเดียมบัฟเฟอร์, pH 6.9 ผสม 6.7 มิลลิโมลาร์โซเดียมคลอไรด์ ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์ Pepsin (1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร, 0.02 โมลาร์ HCl, pH 2) ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร นำไปบ่มย่อยใน Shaking Water Bath ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 170 rpm 30 นาที และหยุดการทำงานของเอนไซม์ด้วยสารละลาย 0.02 โมลาร์โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์ผสมระหว่าง Pancreatin (2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร, 0.2 โมลาร์ NaOAc, pH 6) และ Amyloglucosidase (28 ยูนิต/มิลลิลิตร, 0.2 โมลาร์ NaOAc, pH 6) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นสุมตัวอย่าง ปริมาตร 100 ไมโครลิตร มาตรวจหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสด้วยเครื่อง Glucose Meter ตามระยะเวลา 0 10 20 30 45 60 90 120 150 180 210 และ 240 นาที โดยเวลาที่ 0 นาที คือการสุมตัวอย่าง มาก่อนเติมสารละลาย Mixture Enzyme และนำค่าความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสในแต่ละระยะเวลาที่ได้มาคำนวณหา Digested Starch (%) ในแต่ละเวลา โดยเทียบกับปริมาณแป้งทั้งหมดที่ได้ คำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (Areas Under Curves, AUC) ของความเข้มข้นกลูโคสที่ถูกย่อยออกมาจากตัวอย่างไว้กับเวลา คำนวณค่า HI คือสัดส่วนระหว่างค่า AUC ของตัวอย่างเทียบกับ AUC ของขนมปังขาวรายงานค่าเป็นร้อยละ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Glycemic Index (GI) ดังสมการ $GI = 39.51 + (0.570 \times HI)$ [8]

7. การวิเคราะห์ปริมาณแป้งต้านทานการย่อย (Resistant Starch)

วิเคราะห์ปริมาณแป้งต้านทานการย่อย ดัดแปลงตามวิธีของ AOAC [9] โดยใช้ชุดทดสอบ Resistant Starch Kit (Megazyme, Bray, Ireland) โดยชั่งตัวอย่างแห้งประมาณ 100 มิลลิกรัม เติมสารละลาย 50 มิลลิโมลาร์ Sodium Maleate Buffer, pH 6.0 ปริมาตร 3.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยด้วย Pancreatic α -Amylase/Amyloglucosidase ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในอ่างบ่มเขย่าควบคุมอุณหภูมิ โดยวางหลอดย่อยในแนวนอนขนานกับการเคลื่อนที่ความเร็วในการเขย่า 200 stroke/min เมื่อครบ 4 ชั่วโมง เติมเอทานอล 95% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยาแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3250 xg เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ล้างตะกอนด้วย Aqueous Ethanol (50% v/v) 8 มิลลิลิตร 2 รอบ จากนั้นละลายส่วนตะกอนด้วยสารละลาย 1.7 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เมื่อตะกอนละลายจนหมด เติมสารละลาย 1.2 โมลาร์ Sodium Acetate Buffer, pH 3.8 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร แล้วเติมเอนไซม์ Amyloglucosidase 3300 ยูนิต/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.1 หรือ 0.3 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล D-Glucose ด้วย GOPOD Reagent

8. การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึก

ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึกโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction โดยบดตัวอย่างด้วยเครื่องบดขนาดแบบละเอียด (Planetary Micro Mill Impact Force, FRITSCH - Model PULVERISETTE 7, Germany) จากนั้นตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (LabX-XRD-6100, Shimadzu, USA) โดยวัด Diffraction Pattern ที่มุม 2θ ในช่วง $10^\circ - 80^\circ$ โดยใช้สภาวะที่กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมป์ ศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์ ความกว้าง slit 1° ความเร็วในการตรวจวัด $0.48^\circ/\text{นาที}$

9. การตรวจสอบรูปร่างด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

ศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (FEI, QUANTA 250, USA) โดยตรึงตัวอย่างบนแถบคาร์บอน และใช้กำลังไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ ที่กำลังขยาย 150 เท่า

10. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส 10 กรัม มาเติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10 w/v) เป็นเวลา 2 - 3 นาที จากนั้นทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scaling 1 ถึง 9 คะแนน (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบที่เป็นผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 26 คน ตามวิธีดัดแปลงของ Mayachiew, P. [10]

11. การผลิตผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

เตรียมผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ โดยใช้ส่วนผสมต่าง ๆ คิดเทียบปริมาณ 100 กรัม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป	84.5
เนื้อไก่อบแห้ง	2.0
ผงปรุงรสไก่	4.0
โปรตีนถั่วเหลือง	2.0
กระเทียมผง	1.0
ขิงผง	1.0
ต้นหอม	0.5
แครอท	1.0
ฟักทอง	1.0
เกลือ	3.0

12. การวิเคราะห์สมบัติกายภาพและทางเคมีของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ วิเคราะห์ความชื้น วัดค่า a_w และดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ตามวิธีการในข้อ 4.1 4.2 และ 4.3

13. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ
นำผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC [3] ปริมาณพลังงาน วิตามินอี เอ ตามวิธี AOCS [11] วิตามินบี1 บี2 [12] ปริมาณแคลเซียม เหล็ก สังกะสี [3] ปริมาณฟอสฟอรัส [13]

14. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส
นำผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ 10 กรัม มาเติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10 w/v) เป็นเวลา 2 - 3 นาที จากนั้นทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scaling 1 ถึง 9 คะแนน (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบที่เป็นผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 26 คน

15. การวิเคราะห์สถิติ
ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองแสดงในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ T-Test Independent Sample สำหรับตัวแปรอิสระที่มี 2 กลุ่ม ที่ความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม PASW Statistics 18 Release 18.0.0 software

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คุณภาพของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส

1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส
โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสที่ผ่านการทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งมีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 87.70 มีความชื้นร้อยละ 8.88 ± 0.13 ซึ่งเกินค่ามาตรฐานเล็กน้อย โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 [14] ขณะที่โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์ไม่ปรุงรสทางการค้ามีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 8.66 ± 0.03 (ตารางที่ 2) ส่วนค่าน้ำอิสระ (a_w) ของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสมีค่าน้อยกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.415 - 0.4526 เมื่อเปรียบเทียบดัชนีการดูดซับน้ำพบว่า โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสมีดัชนีการดูดซับน้ำที่สูงกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 7.60 ± 0.04 และ 6.83 ± 0.03 ตามลำดับ Mayachiew, P. [10] ศึกษาดัชนีการดูดซับน้ำของโจ๊กข้าวสังข์หยดและข้าวหอมมะลินทรีย์มีค่าเท่ากับ 7.76 และ 11.51 ตามลำดับ ดัชนีการดูดซับน้ำของข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยวิธีทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 6.29 - 9.90 [2]

ตารางที่ 2 ร้อยละผลผลิต ความชื้น ค่าน้ำอิสระ (a_w) และดัชนีการดูดซับน้ำของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส

ผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลิ	ผลผลิต (%)	ความชื้น (%wb)*	น้ำอิสระ (a_w)*	ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI)*
อินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป ไม่ปรุงรส	87.70	8.88±0.13	0.4151±0.0031	7.60±0.04
กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า	-	8.66±0.03	0.4526±0.0040	6.83±0.03

หมายเหตุ * ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$) วิเคราะห์โดยใช้ T-Test Independent Sample

1.2 ปริมาณแป้งและดัชนีน้ำตาลของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส

ความสามารถในการย่อยของโจ๊กข้าวในระบบจำลองการย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กของมนุษย์ โดยทำการวัดปริมาณกลูโคสที่ปล่อยออกมาในแต่ละช่วงเวลา (*In Vitro Digestion*) พบว่าปริมาณแป้งทั้งหมดและค่าดัชนีน้ำตาลของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสและโจ๊กข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปทางการค้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าในช่วง 86.22 - 86.25 และ 78.69 - 78.78 ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีน้ำตาล (estimated Glycemic Index, eGI) จัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง (ค่ามากกว่า 70) [15] ส่วนปริมาณกลูโคสที่ปลดปล่อยหลังการย่อย 20 นาที แสดงถึงแป้งที่ถูกย่อยได้เร็ว (RDS) ของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสมีค่ามากกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าร้อยละ 49.74±0.98 และ 42.74±1.03 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณกลูโคสที่ปลดปล่อยในช่วงการย่อย 20 - 120 นาที (SDS) มีค่าที่น้อยกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าร้อยละ 43.98±0.33 และ 51.93±0.65 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสที่ผ่านกระบวนการตัดกึ่งนี้ มีการปลดปล่อยอะมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลที่สั้นลงออกมา โมเลกุลบางส่วนไม่เกิดการจับตัวเป็น Amylose-Amylose Double Helix ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปย่อยและตัดโครงสร้างแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม พบว่าการเตรียมโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสด้วยการย่อยด้วยเอนไซม์ Pullulanase ร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที และนำไปทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งสามารถเพิ่มระดับแป้งต้านทานการย่อย (Resistant Starch) ได้ โดยมีค่าสูงกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) มีค่าร้อยละ 0.13±0.00

1.3 ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส

เม็ดแป้งโดยทั่วไปมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-Crystalline) ลักษณะความเป็นผลึกเกิดจากการจัดเรียงตัวของอะมิโลเพคตินและอะมิโลสของเม็ดแป้ง จากผลการทดลองพบว่า แป้งข้าวดิบเริ่มต้นมีสภาพผลึกเป็นชนิดเอ (A-Type Crystal) ซึ่งแสดงพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่ง 15.5° 17.5° และ 23.5° Theta ซึ่งลักษณะรูปแบบพีคที่ได้คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Pongjanta, J., Utaipatanacheep, A., Naivikul, O., and Piyachomkwan, K. [16] เมื่อนำข้าวหักมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนและย่อยด้วยเอนไซม์ Pullulanase เพื่อผลิตเป็นโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส

(Enzyme-Rice Porridge) พบลักษณะพีคแบบ Broad Band (รูปที่ 1) เช่นเดียวกันกับโจ๊กข้าวหอมมะลิ กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า (Commercial Rice Porridge) โดยลักษณะพีคดังกล่าวแสดงถึงการสูญเสียโครงสร้างผลึก (Crystallinity) อย่างสมบูรณ์จากขั้นตอนการเจลาติไนส์ของแป้งระหว่างการต้ม และไม่พบลักษณะของพีคของสภาพผลึกชนิด V ในโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส ส่วนโจ๊กข้าวหอมมะลิ กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าพบสภาพผลึกคล้ายชนิด V เพียงเล็กน้อยที่ตำแหน่ง 13.5° และ 19.9° Theta ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงถึงการเกิดโครงสร้าง Amylose-Lipid Complex เป็นโครงสร้างแป้งทนย่อยแบบที่ 5 (Resistant Starch Type V) [16] การไม่พบโครงสร้างผลึกเมื่อวิเคราะห์ด้วย XRD จึงสอดคล้องกับค่าปริมาณแป้งต้านทานการย่อยที่ต่ำ (ตารางที่ 3) แสดงว่าการเตรียมโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปโดยวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์ Pullulanase ที่ระดับร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที และแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อการเกิดโครงสร้างผลึกที่ทนย่อยของแบบที่ 3 อาจเนื่องจากระยะเวลาในการตัดกิ่งด้วยเอนไซม์ Pullulanase ไม่เพียงพอในการตัดอะมิโลเพคตินให้เป็นอะมิโลสที่มีขนาดที่เหมาะสมในการจับตัวเป็นโครงสร้าง Amylose Double Helix

ตารางที่ 3 ปริมาณแป้งและดัชนีน้ำตาลของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป

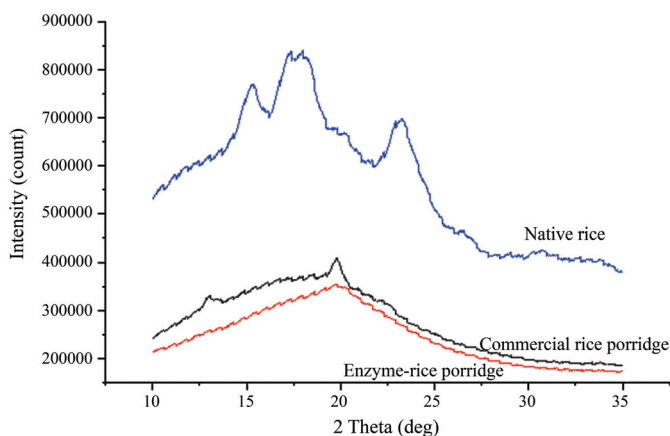
ผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลิ	ปริมาณแป้งชนิดต่าง ๆ (%db)				eGI ^{ns}
	TS ^{ns}	RDS*	SDS*	RS*	
อินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส	86.25±0.10	49.74±0.98	43.98±0.33	0.13±0.00	78.69±0.31
กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า	86.22±0.10	42.74±1.03	51.93±0.65	0.00±0.00	78.78±0.93

หมายเหตุ: * ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

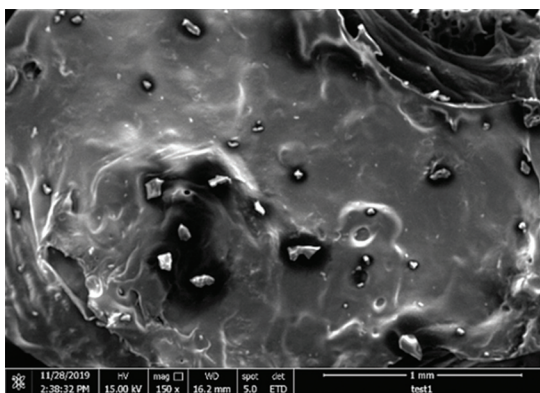
^{ns} ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) วิเคราะห์โดยใช้ T-Test Independent Sample, TS = Total Starch, RDS = Rapid Digestible Starch, SDS = Slow Digestible Starch, RS = Resistant Starch, eGI = estimated Glycemic Index

1.4 ลักษณะโครงสร้างของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส

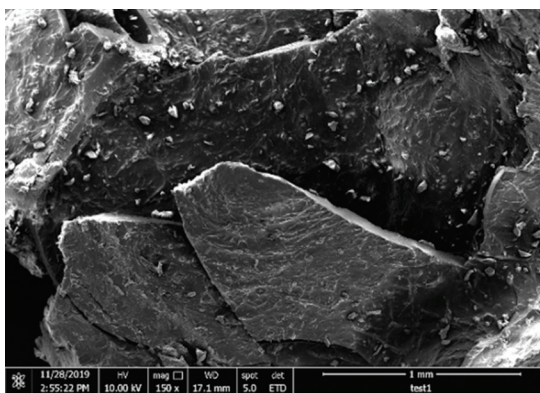
ลักษณะโครงสร้างของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งโดยลูกกลิ้ง (รูปที่ 2) พบว่า โครงสร้างของโจ๊กข้าวที่ผ่านการทำแห้งโดยลูกกลิ้งที่นำมาลดขนาดโดยการบดแบบหยาบ จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 4 mm มีลักษณะเป็นเกล็ดบาง ๆ จึงทำให้โจ๊กข้าวสามารถกินตัวได้สมบูรณ์เมื่อนำไปชงในน้ำร้อน ส่วนตัวอย่างโจ๊กข้าวหอมมะลิ กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าจะมีขนาดเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันแต่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมและมีผิวเรียบ อาจเนื่องมาจากกระบวนการในการผลิตและการทำแห้งที่แตกต่างกันจึงทำให้มีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อค่าดัชนีการดูดซับน้ำที่แตกต่างกัน



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปตรวจสอบด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)



(ก) โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส



(ข) โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า

รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope); กำลังขยาย 150x

1.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสเปรียบเทียบกับไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าโดยวิธี 9-Point Hedonic Scale (ตารางที่ 4) ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 26 คน พบว่า ผู้ทดสอบชิมมีความชอบคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 5.88 - 6.61 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สำหรับไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้ามีระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.23 - 7.26 ส่วนคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสผู้ทดสอบชิมชอบไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้ามากกว่าไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีระดับความชอบปานกลาง (7.07 ± 1.67) อาจเนื่องจากการผลิตไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ตึกกว่า จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสไปพัฒนาต่อโดยนำไปเป็นส่วนผสมหลักในผลิตภัณฑ์ไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสได้

ตารางที่ 4 คุณภาพประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส

คุณลักษณะ	ไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรส	ไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า
สี ^{ns}	6.57 $\pm$ 1.74	7.26 $\pm$ 1.48
กลิ่น ^{ns}	6.61 $\pm$ 1.38	7.11 $\pm$ 1.10
รสชาติ ^{ns}	5.88 $\pm$ 1.21	6.23 $\pm$ 1.21
เนื้อสัมผัส*	6.03 $\pm$ 1.45	7.07 $\pm$ 1.67
ความชอบโดยรวม ^{ns}	6.07 $\pm$ 1.83	6.73 $\pm$ 1.34

หมายเหตุ: * ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) วิเคราะห์โดยใช้ T-Test Independent Sample; 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

2. คุณภาพของไอ้จิ้งจอกข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสได้

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของส่วนผสมแห้งสำหรับปรุงรสได้

ร้อยละผลผลิต ความชื้น ค่าน้ำอิสระ (a_w) และดัชนีการดูดซับน้ำของส่วนผสมแห้งสำหรับปรุงรสได้ ดังตารางที่ 5 ส่วนผสมแห้งที่เป็นผักสำหรับเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเครื่องเทศสำหรับปรุงรสมีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง คือ ไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก [17] โดยมีค่าในช่วงร้อยละ 4.47 - 6.93 ค่าน้ำอิสระ (a_w) ของวัตถุดิบมีค่าน้อยกว่า 0.6 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2377 - 0.4223 ดัชนีการดูดซับน้ำของส่วนผสมแห้งแต่ละชนิดพบว่า ต้นหอมและแครอทมีค่าการดูดซับน้ำคือ 6.20 ± 0.01 และ 5.44 ± 0.13 ตามลำดับ ในขณะที่ฟักทองมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำที่ค่อนข้างต่ำ

คือ 2.97 ± 0.27 ส่วนเนื้อไก่อบแห้งมีค่าดัชนีการดูดน้ำที่ต่ำมาก เนื่องจากโครงสร้างของเนื้อไก่ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยของโปรตีนที่จับกันแน่นทำให้สามารถดูดซับน้ำกลับคืนได้ต่ำกว่าผักอบแห้ง

ตารางที่ 5 ร้อยละผลผลิตของวัตถุดิบหลังการทำแห้ง ความชื้น ค่าน้ำอิสระ (a_w) และดัชนีการดูดซับน้ำของส่วนผสมแห้งสำหรับปรุงรสไก่

วัตถุดิบ	ผลผลิตของ วัตถุดิบหลังการ ทำแห้ง (%)	ความชื้น (%wb)	น้ำอิสระ (a_w)	ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI)
ต้นหอม	7.47	6.93 ± 1.49	0.3636 ± 0.0088	6.20 ± 0.01
แครอท	9.20	6.50 ± 1.00	0.4094 ± 0.0687	5.44 ± 0.13
ฟักทอง	14.30	6.81 ± 1.02	0.4223 ± 0.0089	2.97 ± 0.27
กระเทียมบด	24.85	4.44 ± 0.66	0.3063 ± 0.0242	ND
ขิงบด	12.77	4.47 ± 0.33	0.2377 ± 0.0068	ND
ไก่	26.61	6.91 ± 0.47	0.3874 ± 0.0214	1.94 ± 0.05

หมายเหตุ: ND = ไม่ได้ทำการทดสอบ

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบแห้งแต่ละชนิดแล้วนำมาผสมแล้วคั้นรูปโดยการเติมน้ำร้อน เริ่มจากการใช้ข้าวหักหอมมะลินทรีย์นำมาต้มให้สุก แล้วนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเพื่อทำให้เกิดการคั้นรูปเร็ว เสริมโปรตีนด้วยเนื้อไก่อบแห้งและโปรตีนถั่วเหลือง และวัตถุดิบต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำมาหาปริมาณความชื้น น้ำอิสระ (a_w) และดัชนีการดูดซับน้ำของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่เปรียบเทียบกับโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้า ดังตารางที่ 6 พบว่าโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้ามีปริมาณความชื้น น้ำอิสระ (a_w) สูงกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ที่ผลิตได้มีความชื้นสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดเล็กน้อย คือมีค่าร้อยละ 8.26 ± 0.09 แต่อย่างไรก็ตามมีค่าความชื้นต่ำกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิจากงานวิจัยของ Mayachiew, P. ซึ่งมีความชื้นร้อยละ 8.96 ± 0.04 [10] ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 แสดงว่าเป็นผลิตภัณฑ์แห้งสามารถเก็บได้นาน เพราะเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ไม่มีค่าดัชนีการดูดซับน้ำต่ำกว่าโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 6.68 ± 0.18 ในขณะที่โจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้ามีค่าดัชนีการดูดซับน้ำเท่ากับ 8.16 ± 0.05 การที่ผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่มีปริมาณความชื้นที่สูงและดัชนีการดูดน้ำกลับต่ำกว่าโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้า เนื่องจากปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งที่ใช้ [2] ดังนั้นหลังจากที่ได้แผ่นโจ๊กจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งควรเพิ่มระยะเวลาการอบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง

ตารางที่ 6 ความชื้น ค่าน้ำอิสระ (a_w) และดัชนีการดูดซับน้ำของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่และโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้า

ตัวอย่าง	ความชื้น (%wb)*	น้ำอิสระ (a_w)*	ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI)*
โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่	8.26±0.09	0.4916±0.0102	6.68±0.18
โจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้า	5.52±0.47	0.3000±0.0122	8.16±0.05

หมายเหตุ: * ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) วิเคราะห์โดยใช้ T-Test Independent Sample

2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่เปรียบเทียบกับโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้าโดยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 26 คน พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่อ่านสี กลิ่น อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้า ($p > 0.05$) ส่วนคุณลักษณะด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมผู้ทดสอบชิมมีความชอบโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้ามากกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 7 ผู้ทดสอบชิมชอบโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่อ่านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.03 ± 1.45 7.42 ± 1.30 และ 7.46 ± 1.20 ตามลำดับ ส่วนโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้าอยู่ในระดับชอบมาก โดยมีคะแนนเท่ากับ 8.46 ± 0.81 8.31 ± 0.88 และ 8.31 ± 1.08 ตามลำดับ อาจเนื่องจากโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้ามีการเติมส่วนผสมเพื่อเพิ่มรสชาติความเป็นอู่มากหลายชนิด ซึ่งส่งผลต่อการรับรู้รสชาติของผู้ทดสอบชิม นอกจากนั้นโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้า มีดัชนีการดูดซับน้ำดีกว่า ผลิตภัณฑ์จึงมีการพองตัวที่ดี จึงส่งผลทำให้มีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า Mayachiew, P. [10] ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวผสมถั่วเหลืองและถั่วเขียวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยวิธี 9-Point Hedonic Scale ของคุณลักษณะในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมพบว่า โจ๊กข้าวสังข์หยดผสมถั่วเหลืองร้อยละ 30 มีคุณลักษณะด้านสีสูงสุดเท่ากับ 7.7 โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์ผสมถั่วเหลืองร้อยละ 20 มีคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านกลิ่นรสสูงที่สุดเท่ากับ 8.2 โจ๊กข้าวสังข์หยดมีคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุดเท่ากับ 8.6 และโจ๊กข้าวสังข์หยดผสมถั่วเหลืองร้อยละ 20 มีคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านการยอมรับรวมสูงที่สุดเท่ากับ 8.6 ในขณะที่คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะด้านการยอมรับรวมของโจ๊กข้าวสังข์หยด และโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์เท่ากับ 7.9 และ 7.7 ตามลำดับ ซึ่งโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีคะแนนความชอบโดยรวม (7.46) ใกล้เคียงกับโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์ (7.7)

ตารางที่ 7 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

คุณลักษณะ	โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์ กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่	โจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ ทางการค้า
สี ^{ns}	7.50±1.39	8.11±0.90
กลิ่น ^{ns}	7.23±1.42	7.69±1.59
รสชาติ*	7.03±1.45	8.46±0.81
เนื้อสัมผัส*	7.42±1.30	8.31±0.88
ความชอบโดยรวม*	7.46±1.20	8.31±1.08

หมายเหตุ: * ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) วิเคราะห์โดยใช้ T-Test Independent Sample; 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

2.4 คุณค่าทางโภชนาการของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

1 ชอง มีน้ำหนัก 35 กรัม โดยปริมาณสารอาหารหลัก พลังงาน ปริมาณแร่ธาตุและวิตามิน ดังตารางที่ 8 จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่พบว่าโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 12.15 3.12 และ 75.34 ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณโปรตีนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยจะต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่า ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก [14] และพลังงานทั้งหมด พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต และพลังงานจากไขมัน ของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่อมีค่าเท่ากับ 378.05 301.36 และ 28.08 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่อมีพลังงาน 378.05 กิโลแคลอรี ปริมาณเหล็ก แคลเซียมและโซเดียมในผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูป ปรุงรสไก่อเท่ากับ 1.01 19.16 และ 1,765 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณวิตามินบี1 และวิตามินเอ เท่ากับ 0.03 และ 63.42 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม อย่างไรก็ตาม จากผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ไม่พบวิตามินอี และบี2 ในผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ Niyomwet, P., Sappasit, P., Waree, A., and Khongsit, P. [2] ศึกษาคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ กึ่งสำเร็จรูปจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ไขมัน โปรตีน เกลือ เกล็ดไนโตรเจน และ พลังงานมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.17 13.53 7.54 69.32 และ 394 กิโลแคลอรี ตามลำดับ

ตารางที่ 8 คุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่

สารอาหาร	ปริมาณต่อ 100 กรัม
โปรตีน (กรัม)	12.15
ไขมัน (กรัม)	3.12
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	75.34
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	378.05
พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต (กิโลแคลอรี)	301.36
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี)	28.08
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.01
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	19.16
โซเดียม (มิลลิกรัม)	1,765
วิตามินอี (มิลลิกรัม)	0.00
วิตามินบี1 (มิลลิกรัม)	0.03
วิตามินบี2 (มิลลิกรัม)	0.00
วิตามินเอ (มิลลิกรัม)	63.42

สรุป

โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสมีค่าความชื้นสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อยและดัชนีการดูดซับน้ำสูงกว่าและค่าน้ำอิสระต่ำกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 4 mm ลักษณะเป็นเกล็ดบาง ๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ดูดซับน้ำได้ดี และยังมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูงกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า ซึ่งสอดคล้องกับผลตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางผลึกโดยวิธี XRD ที่ไม่พบพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่แสดงถึงการเกิดโครงสร้างผลึกของแป้งต้านทานการย่อยแบบที่ 3 จากการทดสอบประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ โดยนำส่วนผสมต่าง ๆ มาผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดพบว่า ความชื้น และค่าน้ำอิสระของโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่มีค่าสูงกว่าโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้า ส่วนดัชนีการดูดน้ำกลับมีค่าต่ำกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผู้ทดสอบชิมชอบโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่ทางการค้ามากกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปปรุงรสไก่มีปริมาณร้อยละโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 12.15 3.12 75.34 และ 378.05 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม นอกจากนั้นปริมาณเหล็ก แคลเซียม โซเดียม วิตามินบี1 และวิตามินเอเท่ากับ 1.01 19.16 1,765 0.03 และ 63.42 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า โจ๊กข้าวหอมมะลินทรีย์กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสที่ผลิตมีดัชนีการดูดซับน้ำและปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูงกว่าโจ๊กข้าวหอมมะลิ

กึ่งสำเร็จรูปไม่ปรุงรสทางการค้า แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาสภาวะและวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยให้ได้มากขึ้น และพัฒนารสชาติและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น เพื่อจะเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวเป็นอาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

References

- [1] Patel, H., Royall, P. G., Gaisford, S., Williams, G. R., Edwards, C. H., Warren, F. J., Flanagan, B. M., Ellis, P. R., and Butterworth, P. J. (2017). Structural and Enzyme Kinetic Studies of Retrograded Starch: Inhibition of α -Amylase and Consequences for Intestinal Digestion of Starch. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 164, pp. 154-161. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.01.040
- [2] Niyomwet, P., Sappasit, P., Waree, A., and Khongsit, P. (2018). Product Development of Instant Riceberry Porridge. **Burapha Science Journal**. Vol. 23, No. 3, pp. 1638-1654
- [3] AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis**. 17th ed. Gaithersburg, MD, USA: Association of Official Chemists
- [4] Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., and Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of Corn Grits by Roll and Extrusion Cooking. **Cereal Science Today**. Vol. 14, No. 1, pp. 4-11
- [5] Prakash, S., Jha, S. K., and Datta, N. (2004). Performance Evaluation of Blanched Carrots Dried by Three Different Driers. **Journal of Food Engineering**. Vol. 62, Issue 3, pp. 305-313. DOI: 10.1016/S0260-8774(03)00244-9
- [6] Na-Nakorn, K., Kulrattanarak, T., Hamaker, B. R., and Tongta, S. (2019). Starch Digestion Kinetics of Extruded Reformed Rice is Changed in Different Ways with Added Protein or Fiber. **Food and Function**. Vol. 10, No. 8, pp. 4577-4583. DOI: 10.1039/C9FO00521H
- [7] Sopade, P. A. and Gidley, M. J. (2009). A Rapid *In-vitro* Digestibility Assay Based on Glucometry for Investigating Kinetics of Starch Digestion. **Starch/Stärke**. Vol. 61, Issue 5, pp. 245-255. DOI: 10.1002/star.200800102
- [8] Goñi, I., Garcia-Alonso, A., and Saura-Calixto, F. (1997). A Starch Hydrolysis Procedure to Estimate Glycemic Index. **Nutrition Research**. Vol. 17, No. 3, pp. 427-437. DOI: 10.1016/S0271-5317(97)00010-9
- [9] AOAC. (2002). **Official Method of Analysis**. 16th ed. Washington DC: Association of Official Analytical
- [10] Mayachiew, P. (2014). **Development of Healthy Instant Legume-Rice Porridges**. Access (20 March 2020). Available (<http://kb.tsu.ac.th/jspui/handle/123456789/3274>)
- [11] AOCS. (1997). **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 5th ed. Washington, DC: American Oil Chemists' Society Press. (Method Ce 8-89)
- [12] Sancho, F. (1998). Effect of Ultra-High Hydrostatic Pressure on Hydrosoluble Vitamins. **Journal of Food Engineering**. Vol. 39, Issue 3, pp. 247-253. DOI: 10.1016/s0260-8774(98)00143-5

- [13] AOAC. (1990). **Official Methods of Analysis**. 15th ed. Washington DC: Association of Official Analytical Chemist
- [14] Thai Industrial Standards Institute. (2015). **Thai Industrial Standard (315-2548): Instant Rice Porridge (congee)**. Access (20 March 2020). Available (<http://research.rid.go.th/vijais/moa/fulltext/TIS315-2548.pdf>)
- [15] Surojanametakul, V. (2006). Glycemic Index of Food. **Journal of Food**. Vol. 36. No.3. pp. 183-187 (in Thai)
- [16] Pongjanta, J., Utaipatanacheep, A., Naivikul, O., and Piyachomkwan, K. (2008). Enzymes-Resistant Starch (RS III) from Pullulanase-Debranched High Amylose Rice Starch. **Kasetsart Journal (Natural Science)**. Vol. 42, pp. 198-205
- [17] Thai Industrial Standards Institute. (2015). **Thai Community Product Standard (136/2558): Dried Fruits and Vegetables**. Access (20 March 2020). Available (http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0136_58)