



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของสมบัติเชิงวิทยากระแสนของไจ้กข้าวฮาง
ที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของ
ผลิตภัณฑ์อบแห้ง

โดย ดร. โสริยา เกิดพิบูลย์

25 มิถุนายน 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของสมบัติเชิงวิทยากระแสน้ำของไม้เท้าฮาง
ที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของ
ผลิตภัณฑ์อบแห้ง

ผู้วิจัย

สังกัด

ดร. โสริยา เกิดพิบูลย์

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. และ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

โจ๊กเป็นอาหารชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ปัจจุบันมีการแปรรูปโจ๊กให้เป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและให้สะดวกต่อการบริโภคมากยิ่งขึ้น สมบัติเชิงวิทยาการของโจ๊กเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อกระบวนการแปรรูป ตลอดจนลักษณะโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อไปยังคุณภาพของโจ๊กอบแห้งหลังการคั่วรูป งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น โดยเตรียมโจ๊กจากข้าวฮาง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพที่มีศักยภาพในการแปรรูปไปเป็นโจ๊ก เนื่องจากเป็นข้าวที่เก็บเกี่ยวในขณะที่ยังไม่แก่จัด บ่มไว้เพื่อให้เปลือกอ่อนตัว นึ่ง และอบแห้ง ก่อนนำมาขัดสีเพียงเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก คุณค่าทางโภชนาการจึงยังคงอยู่ในเมล็ดข้าวในลักษณะเดียวกับข้าวหนึ่ง ทั้งนี้เตรียมข้าวฮางขนาด 0.5 และ 2.0 มิลลิเมตร และใช้อัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำเป็น 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 และ 1:14 น้ำหนักต่อน้ำหนัก จากนั้นอบแห้งโจ๊กข้าวฮางโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกคู่ที่อุณหภูมิ 125, 130 และ 135°C และทำการคั่วรูปโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง โดยใช้อัตราส่วนโจ๊กข้าวฮางอบแห้งต่อน้ำเท่ากันกับกรณีการเตรียมโจ๊กข้าวฮางก่อนการอบแห้ง จากผลการศึกษาพบว่าขนาดของข้าวฮางและอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหนืด สี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวฮาง โดยพบว่าการเพิ่มสัดส่วนปริมาณน้ำส่งผลให้โจ๊กข้าวฮางมีความหนืด ความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โจ๊กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2.0 มิลลิเมตร มีความหนืดสูง และมีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงกว่าโจ๊กที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 0.5 มิลลิเมตร สำหรับผลการศึกษาในส่วนที่สอง พบว่าสภาวะการเตรียมโจ๊ก ตลอดจนสภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โจ๊กข้าวฮางอบแห้งมีความชื้นร้อยละ 2.6 ถึง 7.8 (d.b.) ขึ้นกับสภาวะการเตรียมและสภาวะการอบแห้ง ภาพถ่ายโครงสร้างของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีความสัมพันธ์กับสมบัติเชิงวิทยาการของโจ๊กข้าวฮาง กล่าวคือโจ๊กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็กมีค่าความหนืดต่ำ เมื่อนำมาอบแห้งจึงมีการหดตัวสูง นอกจากนี้ยังพบว่าภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จากโจ๊กที่เตรียมโดยใช้สัดส่วนปริมาณน้ำมาก มีการหดตัวน้อยกว่า ลักษณะโครงสร้างที่สังเกตได้ส่งผลสืบเนื่องไปยัง

สมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยโຈ้กอบแห้งมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ 4.7 ถึง 8.9 เท่า ขึ้นกับสภาวะการเตรียม การอบแห้ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ เมื่อนำโຈ้กที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็กอบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และการหดตัวสูง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับมีค่าต่ำ การใช้สัดส่วนปริมาณน้ำในการเตรียมโຈ้กน้อย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีการหดตัวสูง และมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับต่ำเช่นเดียวกัน สำหรับการศึกษาในส่วนสุดท้ายพบว่า ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความสัมพันธ์กับสมบัติเชิงกายภาพของโຈ้กข้าวฮางอบแห้งหลังการคั้นรูป โดยพบว่าโຈ้กข้าวฮางอบแห้งหลังการคั้นรูปมีความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความหนืดที่น้อยกว่าโຈ้กข้าวฮางก่อนการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: การอบแห้ง; ข้าวฮาง; ความหนืด; โຈ้ก; โครงสร้าง; สมบัติเชิงกายภาพ

Abstract

Porridge is well-known as one of the traditional food products. In addition to the traditional form of porridge, instant porridge, which is a dried form of the product, has recently gained much popularity due to its longer shelf-life and convenience. Rheological property of porridge is one of the factors affecting the processing as well as the structural and physical properties of the dried product, which in turn affect the quality of the rehydrated dried porridge. The purpose of this research was to therefore to study the relationships of the above-mentioned properties. Porridge was prepared from Hang rice, which was selected due to its highly nutritious nature. Since Hang rice is obtained by harvesting paddy during its immature stage prior to being subjected to aging, streaming, drying and partially polishing, Hang rice possesses high nutritional value in the same way as parboiled rice. Porridge was prepared using the Hang rice sizes of 0.5 and 2.0 mm and the Hang rice to water ratios of 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 and 1:14 (w/w). Subsequently, Hang rice porridge was dried using a double-drum dryer at temperatures of 125, 130 and 135°C. The dried porridge was rehydrated using the same dried porridge to water ratios as those used to prepare the porridge prior to drying. The results indicated that the Hang rice size and Hang rice to water ratio had an interactive effect on the viscosity, color and sensorial acceptance of the Hang rice porridge. Increased water ratio resulted in porridge with decreased viscosity, lightness, redness and yellowness. Hang rice porridge prepared from the rice with 2.0-mm size had higher viscosity and overall acceptance score than that prepared from the rice with 0.5-mm size. Hang rice porridge preparation methods and drying conditions affected the structure and rehydration ratio of the dried porridge. Dried Hang rice porridge had moisture content in the range of 2.6-7.8% (db), depending on the porridge preparation methods and drying conditions. SEM images of the dried porridge indicated that the dried porridge structure correlated well with the rheological property of the Hang rice porridge. Hang rice porridge prepared from small size rice had lower viscosity, leading to dried Hang rice porridge with more extensive shrinkage.

SEM images also revealed that dried porridge obtained from porridge prepared by using higher rice to water ratios had less shrinkage. This structural observation correlated well with the physical property of the dried product. Dried porridge had a rehydration ratio in the range of 4.7-8.9, depending on the porridge preparation methods, drying conditions and rehydration temperature. Using small-size rice to prepare the porridge resulted in more structural changes, shrinkage and decreased rehydration ratio of the dried porridge. Using less water also led to similar results. The structural property of the dried porridge also correlated well with the physical property of the rehydrated dried porridge. Rehydrated Hang rice porridge had lightness, redness, yellowness and viscosity less than those of Hang rice porridge prior to drying.

Keywords: Drying; Parboiled rice (Hang rice); Physical property; Structural property; Viscosity;

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)	1
บทนำ	5
วัตถุประสงค์	9
วิธีการดำเนินงาน	10
ผลการทดลองและวิจารณ์	13
บทสรุป	29
เอกสารอ้างอิง	30
Output ที่ได้จากโครงการ	32
ภาคผนวก ก	33

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

ทฤษฎีพื้นฐานเชิงวิทยาศาสตร์ “การผลิต การเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว และการแปรรูปอาหาร
เพื่อการบริโภคภายในประเทศ และเพื่อเป็นสินค้าออกมูลค่าสูง”

-
1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ผลของสมบัติเชิงวิทยาการระแสบของโจ๊กข้าวฮางที่มีต่อ
โครงสร้าง และสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์
อบแห้ง
(ภาษาอังกฤษ) Effects of Rheological Property of Parboiled Rice
Porridge on Structural and Physical Properties of
the Dried Product
 2. ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail
นางสาวโสรัยา เกิดพิบูลย์
สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 02-739-8526 โทรสาร 02-739-8527
E-mail: kksoraya@kmitl.ac.th, sorayakerd@gmail.com
 4. ระยะเวลาดำเนินงาน 2 ปี
 5. ปัญหาที่ทำการวิจัย และความสำคัญของปัญหา
โจ๊กเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศให้ความนิยมรับประทานกัน
อย่างแพร่หลาย สำหรับในประเทศไทยมีการใช้ข้าวขาวหอมมะลิเป็นวัตถุดิบหลักในการ
ผลิตโจ๊ก และมีการผสมเนื้อสัตว์ ผัก และเครื่องปรุงรสอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทาง
โภชนาการให้มากขึ้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันกระแสความนิยมข้าวกล้อง ซึ่งเป็นข้าวที่
ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว เพียงเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก (มกอช.400-
2546) และยังคงมีวิตามินที่มีประโยชน์แก่ร่างกายอยู่ในเมล็ดข้าวได้เพิ่มขึ้นเป็นอย่างดี

มาก โดยได้มีการนำเอาข้าวกล้องไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเบเกอรี่ น้ำข้าวกล้อง รวมทั้งแปรรูปเป็นโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิ (สมโภชน์ และคณะ, 2551) นอกจากข้าวกล้องแล้ว ข้าวฮางหรือข้าวหอมทองก็ยังเป็นอีกผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมและมีศักยภาพสูงในการนำมาแปรรูปเป็นโจ๊กเช่นเดียวกัน

ข้าวฮางหรือข้าวหอมทองเป็นข้าวที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือข้าวขาวหอมมะลิซึ่งเก็บเกี่ยวในขณะที่ยังไม่แก่จัด โดยมีระยะการสุกของเมล็ดข้าวประมาณร้อยละ 85 (อยู่ในระยะที่เรียกว่า dough stage) หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วข้าวจะถูกบ่มไว้ 2 ค่ำ เพื่อให้เปลือกข้าวอ่อนตัว จากนั้นจึงนำมาแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือดเพื่อให้เมล็ดข้าว ทำให้เย็นและนำไปผึ่งลมให้แห้ง (หรืออาจใช้เครื่องอบแห้ง) ก่อนนำไปสีในลักษณะเดียวกันกับข้าวกล้อง (ข้อมูลจากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านนาบ่อ อำเภวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร) ด้วยกระบวนการที่มีการทำให้ข้าวเปลือกสุกโดยการนึ่งก่อนนำไปขัดสี คุณค่าทางโภชนาการจึงยังคงอยู่ในเมล็ดข้าว (ในลักษณะเดียวกับข้าวหนึ่ง) จึงอาจถือได้ว่าข้าวฮางเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพที่มีศักยภาพมาก ผลิตภัณฑ์หนึ่ง ข้าวฮางมีสีกลิ่นหอมของฟางข้าว และมีสีเหลืองทอง จึงมีชื่อเรียกข้าวฮางอีกชื่อว่า ข้าวหอมทอง อย่างไรก็ตามการนำข้าวฮางมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยังมีไม่มาก การนำข้าวฮางมาผลิตเป็นอาหารหลักจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค

ในปัจจุบันมีการแปรรูปโจ๊กให้เป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษาลดขนาด น้ำหนัก และสะดวกต่อการบรรจุและขนส่งมากขึ้น สำหรับโจ๊กสมบัติเชิงวิทยากระแสนของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความหนืด และความสามารถในการไหล นับเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการแปรรูป การควบคุมคุณภาพ (การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค) รวมทั้งลักษณะโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งในขั้นตอนสุดท้ายด้วย โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงวิทยากระแสนของโจ๊ก ได้แก่ ชนิด และขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ อัตราส่วนระหว่างเนื้อและน้ำ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการแปรรูป เป็นต้น (Ojijo and Shimoni, 2004; Mahona et al, 1998)

สมบัติเชิงวิทยากระแสนของโจ๊กเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและส่งผลต่อกระบวนการแปรรูป ตลอดจนลักษณะโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่ง

ส่งผลต่อไปยังคุณภาพของไจ้กอบแห้งหลังการคัณรูป งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น โดยเตรียมไจ้กจากข้าวฮาง ขนาด 0.5 และ 2.0 มิลลิเมตร และใช้อัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำเป็น 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 และ 1:14 น้ำหนักต่อน้ำหนัก จากนั้นอบแห้งไจ้กข้าวฮางโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกคู่ที่อุณหภูมิ 125, 130 และ 135°C และทำการคัณรูปไจ้กข้าวฮางอบแห้งโดยใช้อัตราส่วนไจ้กข้าวฮางอบแห้งต่อน้ำเท่ากันกับกรณีการเตรียมไจ้กข้าวฮางก่อนการอบแห้ง จากผลการศึกษาในส่วนแรกพบว่าขนาดของข้าวฮางและอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหนืด สี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไจ้กข้าวฮาง โดยพบว่าการเพิ่มสัดส่วนปริมาณน้ำส่งผลให้ไจ้กข้าวฮางมีความหนืด ความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไจ้กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2.0 มิลลิเมตร มีความหนืดสูง และมีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงกว่าไจ้กที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 0.5 มิลลิเมตร

สำหรับผลการศึกษาในส่วนที่สอง พบว่าสภาวะการเตรียมไจ้ก ตลอดจนสภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ไจ้กข้าวฮางอบแห้งมีความชื้นร้อยละ 2.6 ถึง 7.8 (d.b.) ขึ้นกับสภาวะการเตรียมและสภาวะการอบแห้ง โดยภาพถ่ายโครงสร้างของไจ้กข้าวฮางอบแห้งที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีความสัมพันธ์กับสมบัติเชิงวิทยากระแสนของไจ้กข้าวฮาง กล่าวคือไจ้กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็กมีค่าความหนืดต่ำ เมื่อนำมาอบแห้งจึงมีการหดตัวสูง นอกจากนี้ยังพบว่าภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จากไจ้กที่เตรียมโดยใช้สัดส่วนปริมาณน้ำมาก มีการหดตัวน้อยกว่า ลักษณะโครงสร้างที่สังเกตได้ส่งผลสืบเนื่องไปยังสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยไจ้กอบแห้งมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับ 4.7 ถึง 8.9 เท่า ขึ้นกับสภาวะการเตรียม การอบแห้ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ เมื่อนำไจ้กที่เตรียมจกข้าวฮางขนาดเล็กมาอบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และการหดตัวสูง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับมีค่าต่ำ การใช้สัดส่วนปริมาณน้ำในการเตรียมไจ้กน้อย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีการหดตัวสูง และมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับต่ำเช่นเดียวกัน

สำหรับการศึกษาในส่วนสุดท้ายพบว่า ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความสัมพันธ์กับสมบัติเชิงกายภาพของไจ้กข้าวฮางอบแห้งหลังการคัณรูป โดยพบว่า

โจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคั่วรูปมีความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และ
ความหนืดที่น้อยกว่าโจ๊กข้าวฮางก่อนการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทนำ

โจ๊กเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศให้ความนิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลาย โดยนิยมบริโภคเป็นอาหารมื้อเช้าซึ่งเป็นมื้อที่สำคัญที่สุด วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตโจ๊ก ได้แก่ ธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวโพด และข้าวสาลี เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยมีการใช้ข้าวหอมมะลิเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตโจ๊ก และมีการผสมเนื้อสัตว์ ผัก และเครื่องปรุงรสอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้มากขึ้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันกระแสความนิยมข้าวกล้อง ซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว เพียงเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออก (มกอช.400-2546) และยังคงมีวิตามินที่มีประโยชน์แก่ร่างกายอยู่ในเมล็ดข้าวได้เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก โดยได้มีการนำเอาข้าวกล้องไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด ได้แก่ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเบเกอรี่ น้ำข้าวกล้อง รวมทั้งแปรรูปไปเป็นโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิ (สมโภชน์ และคณะ, 2551) นอกจากข้าวกล้องแล้ว ข้าวฮางหรือข้าวหอมทองก็ยังเป็นอีกผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมและมีศักยภาพสูงในการนำมาแปรรูปเป็นโจ๊กเช่นเดียวกัน

ข้าวฮางหรือข้าวหอมทองเป็นข้าวที่ผลิตจากข้าวสายพันธุ์ต่างๆ เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือข้าวเหนียว กข 6 โดยมีการเก็บเกี่ยวข้าวในขณะที่ยังไม่แก่จัด (มีระยะการสุกของเมล็ดข้าวประมาณร้อยละ 85) หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วข้าวจะถูกบ่มไว้ 2 คืน เพื่อให้เปลือกข้าวอ่อนตัว จากนั้นจึงนำมาแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือด ทำให้เย็นและนำไปผึ่งลมให้แห้ง (หรืออาจใช้เครื่องอบแห้ง) ก่อนนำไปสีเป็นข้าวสาร (ข้อมูลจากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านนาบ่อ อำเภวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร) ด้วยกระบวนการที่มีการทำให้ข้าวเปลือกสุกโดยการนึ่งก่อนนำไปขัดสี คุณค่าทางโภชนาการจึงยังคงอยู่ในเมล็ดข้าว (ในลักษณะเดียวกับข้าวเนึ่ง) จึงอาจถือได้ว่าข้าวฮางเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพที่มีศักยภาพมากผลิตภัณฑ์หนึ่ง อย่างไรก็ตามการนำข้าวฮางมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยังมีไม่มาก การนำข้าวฮางมาผลิตเพื่อบริโภคเป็นอาหารหลักจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค

ในปัจจุบันมีการแปรรูปโจ๊กให้เป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษาลดขนาด น้ำหนัก และสะดวกต่อการบรรจุและขนส่งมากขึ้น สำหรับโจ๊กสมบัติเชิงวิทยาศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความหนืด และความสามารถในการไหล นับเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการแปรรูป การควบคุมคุณภาพ (การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค) รวมทั้งลักษณะโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่

ผ่านการอบแห้งในขั้นตอนสุดท้ายด้วย โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงวิทยากระแสนของโจ๊ก ได้แก่ ชนิด และขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ อัตราส่วนระหว่างเนื้อและน้ำ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการแปรรูป เป็นต้น (Ojijo and Shimoni, 2004; Mahona et al, 1998)

ปัจจุบันแม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาสมบัติเชิงวิทยากระแสนของโจ๊กและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง (Ojijo and Shimoni, 2004; Mahona et al, 1998; Bhattacharya, 1996) แต่ยังมีงานวิจัยน้อยมากที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงวิทยากระแสนของโจ๊กที่ผ่านการแปรรูปก่อนการอบแห้ง ต่อสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการก่อนการแปรรูปโจ๊กข้าวฮางที่มีต่อสมบัติเชิงวิทยากระแสน และผลร่วมของสมบัติดังกล่าวกับผลของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ทรงกระบอกที่สภาวะต่างๆ ที่มีต่อสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อสามารถนำผลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการผลิต และแปรรูปผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวฮางให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

โจ๊กเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่คนทั่วไปนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในมื้อเช้าซึ่งเป็นมื้อที่สำคัญที่สุดของวัน โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตโจ๊ก ได้แก่ วัตถุดิบกลุ่มธัญพืช ซึ่งมีหลากหลายชนิด และแตกต่างกันไปตามความนิยมในแต่ละประเทศ เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวเจ้า เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยโจ๊กส่วนใหญ่ผลิตจากข้าวหอมมะลิ และมีการเติมผักและเนื้อสัตว์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยที่นำข้าวกล้องหอมมะลิ ซึ่งประกอบด้วยวิตามินหลายชนิดซึ่งไม่ได้ถูกขัดสีออกไปในระหว่างกระบวนการสีข้าวมาผลิตเป็นโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิสำเร็จรูป (สมโภชน์ และคณะ, 2551) โดยทำการหุงข้าวกล้องหอมมะลิแบบไม่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 30 นาที จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 140 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นเกล็ดสีขาว มีจุดสีน้ำตาลของเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิกระจายปนอยู่ เมื่อนำไปไปหุงต้มพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นหอม

การขัดสีข้าวส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์ โดย Mahona et al. (1998) ทำการศึกษาลักษณะเชิงวิทยากระแสนของโจ๊กที่ผลิตจากข้าวสาลี โดยใช้ข้าวสาลีที่ผ่านการขัดสีและไม่ได้ผ่านการขัดสีมาผลิตเป็นโจ๊ก โดยใช้อัตราส่วนข้าวสาลี

ต่อน้ำ 1:10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ต้มน้ำเดือดที่เวลาต่าง ๆ กัน จากผลการทดลองทดสอบ พฤติกรรมการไหลพบว่าโຈ็กเป็นของไหลแบบ non-Newtonian ประเภท Pseudoplastic (สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gujral and Sodhi, 2002) ในทุกช่วงสภาวะที่ทำการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีที่ผ่านกระบวนการขัดสี มีค่าความหนืด และ ค่า Consistency index สูงกว่าผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีที่ไม่ได้ผ่านการขัดสี

Helland et al. (2002) ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการงอกของข้าวโพดหลังการ เก็บเกี่ยวที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของอัลฟา-อะไมเลส และสมบัติเชิงกายภาพของโຈ็กที่ผลิต จากข้าวโพด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำให้เมล็ดข้าวโพดมีการงอกก่อนการ นำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ สามารถเพิ่มปริมาณอัลฟา-อะไมเลส ในเมล็ดข้าวโพด และ มีผลต่อค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพิ่มระยะเวลาในการงอก ทำให้ ปริมาณอัลฟา-อะไมเลส เพิ่มขึ้น และค่าความหนืดลดลง

ปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงวิทยาการระสและพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์ที่มี แบ่งเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ลักษณะโครงสร้างการจัดเรียงตัวของอะไมโลส ความแน่น ความสามารถในการบวมพองของเม็ดแป้ง และขนาดของเม็ดแป้ง ลักษณะรูปร่างของ เม็ดแป้ง เป็นต้น ดังนั้นสัดส่วนของแป้งและน้ำในการทำให้เกิดเจลลาติในเซชันของเม็ด แป้ง รวมถึงอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจึงส่งผลต่อค่า yield stress การ จัดเรียงตัวของโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบ ทั้งสิ้น (Morris, 1986; Ojijo and Shimoni, 2004)

Shao et al. (2007) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงวิทยาการระสของ เจลอะไมโลสที่มีต่อลักษณะโครงสร้างและการเกิด subfraction ของอะไมโลส โดยใช้อะ ไมโลสที่แยกได้จากข้าวเจ้า 3 สายพันธุ์ โดยการนำข้าวเจ้าที่ขัดสีแล้วมากำจัดไขมัน จากนั้นนำข้าวมาวิเคราะห์โครงสร้าง ได้แก่ อัตราการเกิด polymerization ความยาวของ สายโซ่โมเลกุล และจำนวนสายโซ่เฉลี่ยของอะไมโลส จากนั้นนำอะไมโลสมาทำให้เกิด เจลที่ระดับความเข้มข้น 3% (น้ำหนักอะไมโลส/น้ำหนักน้ำ) นำตัวอย่างเจลที่ได้มา วิเคราะห์สมบัติการไหล ผลการทดลองพบว่า สมบัติเชิงวิทยาการระสของอะไมโลสมี ความสัมพันธ์กับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ โดยอะไมโลสจากข้าวเจ้าสายพันธุ์ที่มีอัตรา การเกิด polymerization สูง มีสายโซ่ยาว และมีจำนวนสายโซ่ต่อหนึ่งโมเลกุลน้อย จะให้ เจลที่มีค่าความยืดหยุ่นสูงกว่า อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง สมบัติเชิงวิทยาการระสของผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้งและสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติ เชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งยังคงมีอยู่น้อยมาก

ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง เมื่อน้ำระเหยออกจากอาหาร โครงสร้างของอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง Wang and Brennan (1995) ศึกษาผลของสภาวะในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของมันฝรั่ง ผลการทดลองพบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งมันฝรั่งในระดับต่ำ ส่งผลให้ค่าการหดตัวของตัวอย่างต่ำกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Willis et al. (1999) ที่พบว่าการอบแห้งพาสต้าที่อุณหภูมิสูง (100 °C) ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าการหดตัวสูงกว่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า (40 °C)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและลักษณะเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งนั้นมีความสัมพันธ์กัน Kerdpiroon et al. (2007) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพของแครอท ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบอากาศร้อน เครื่องอบแห้งแบบระเหิด และเครื่องอบแห้งแบบใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีการหดตัวน้อยกว่า และมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับมากกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำในกรณีที่ใช้เครื่องอบแห้งชนิดเดียวกัน จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพของตัวอย่างในระหว่างการอบแห้งแบบใช้อากาศร้อน แบบระเหิด และแบบใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำโดยใช้ค่ามิติแฟรคทัล (Fractal dimension, เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย) พบว่าค่ามิติแฟรคทัลเป็นดัชนีที่สามารถใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในตัวอย่างและมีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละของการหดตัวและความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่นสูง ($R^2 > 0.95$)

สำหรับผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวฮางที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบหลัก การเกิดโครงสร้าง Network ของเม็ดแบ่งในขณะที่มีการให้ความร้อนส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงวิทยากระแส ดังนั้นเมื่อนำโจ๊กมาผ่านกระบวนการอบแห้งย่อมส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงวิทยากระแสของโจ๊กข้าวฮางที่มีการแปรรูปก่อนการอบแห้งที่มีต่อสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งจึงมีความสำคัญเนื่องจากจะสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการแปรรูป และการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวฮางได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติเชิงวิทยาการและของโจ๊กข้าวฮาง
2. เพื่อศึกษาโครงสร้าง และสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ทรงกระบอกที่สภาวะต่างๆ
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงวิทยาการและที่มีต่อโครงสร้าง และความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง

วิธีการดำเนินงาน

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ข้าวฮางที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali (KDML) 105, *Oryza sativa* var. *glutinosa*) จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านนาบ่อ อำเภวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร ควบคุมให้ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ มีค่าประมาณ 8-10% (wet basis) บดตัวอย่างด้วยเครื่อง Hammer mill (PX-MFC90D, Switzerland) นำข้าวฮางที่ผ่านการบดมาร้อนผ่านตะแกรงให้ตัวอย่างมีขนาด 0.5 และ 2.0 mm บรรจุในถุงลามิเนตโพลีเอทิลีน (LLDPE) ถุงละ 300 กรัม เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำไปใช้ (เก็บไว้ไม่เกิน 4 เดือน) (ดัดแปลงจาก Fombang et al, 2005)

2. การศึกษากระบวนการแปรรูปโจ๊กข้าวฮาง

สภาวะที่ใช้ในการเตรียมโจ๊กข้าวฮาง มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดของข้าวฮาง 2 ขนาด คือ 0.5 และ 2 mm และอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการผลิตโจ๊กข้าวฮาง 6 ระดับ คือ 1:4 1:6 1:8 1:10 1:12 และ 1:14 w/w ตามลำดับ (2×6 factorial in RCBD) การเตรียมโจ๊กข้าวฮางโดยการนำข้าวฮางที่เตรียมได้ มาแปรรูปเป็นโจ๊กข้าวฮาง โดยดัดแปลงวิธีการของ Helland et al. (2002) โดยนำข้าวฮางขนาดที่ผ่านการบดและร่อนในขนาดต่างๆ และน้ำในอัตราส่วนดังกล่าว มาต้มโดยการให้ความร้อนใน water bath ที่มีฝาปิด ควบคุมอุณหภูมิ 100°C มีการคนทีละระยะเวลาการต้ม 3 นาที และ 10 นาที จากนั้นคนทุก 10 นาทีจนครบเวลา 90 นาที เติมน้ำมันผสมได้แก่ผงปรุงรส และเกลือ ในอัตราส่วนโจ๊กข้าวฮาง:ผงปรุงรส:เกลือ 800:18:3 w/w ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างเท่ากับ 40°C นำตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติเชิงวิทยาการ สมบัติเชิงภาพ ได้แก่ ค่าสี และความหนืดของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

3. การศึกษากระบวนการแปรรูปโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง

โจ๊กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮาง 2 ขนาด และอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 6 ระดับ (รวม 12 treatments) อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ทรงกระบอก (Model 19/22 DOFM, Thailand) (Fig. 1) ลูกกลิ้งคู่ทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวลูกกลิ้ง 190×220 มม.² ที่อุณหภูมิ 125 130 และ 135 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1 รอบต่อนาที

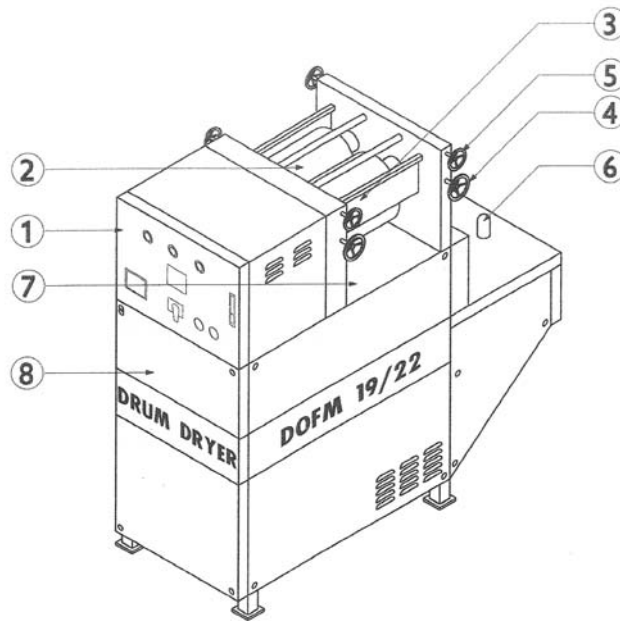


Fig. 1 A schematic diagram of double drum dryer. 1, controller; 2, double drum; 3, knife; 4, valve used to control distance between double drum; 5, valve used to control distance between drum and knife; 6, pressure gauge; 7, product receiver; 8, cover.

4. การศึกษาคุณภาพของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคั้นรูป

นำโจ๊กข้าวฮางอบแห้งมาคั้นรูป โดยการละลายโจ๊กข้าวฮางอบแห้งในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80°C อัตราส่วนโจ๊กข้าวฮางอบแห้งต่อน้ำเท่ากันกับกรณีการเตรียมโจ๊กข้าวฮางก่อนการอบแห้ง

5. การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติเชิงวิทยากระแส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวฮาง

5.1 สมบัติเชิงวิทยากระแส

ความหนืด (viscosity) วิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่อง Rheometer (Physica รุ่น MCR51, Austria) โดยเทโจ๊กข้าวฮางในภาชนะทรงกระบอกที่มีการควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่ 40°C กำหนดอัตราการเฉือนคงที่ 100 ต่อวินาที เป็นเวลานาน 180 วินาที ควบคุมอุณหภูมิของ อ่านค่าความหนืดของตัวอย่าง และคุณลักษณะการไหลของโจ๊กข้าวฮาง ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างวัดลักษณะการไหลทั้งหมด 5 ซ้ำ ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 การทดลอง

5.2 สี

วัดค่าสีของโจ๊กข้าวฮางโดยใช้ HunterLab (Miniscan SE plus, USA). แสดงค่าความสว่าง (Lightness, L^*) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) ความเป็นสีแดง-เขียว (redness-green, a^*) โดยค่าเป็น + หมายถึงมีแนวโน้มความเป็นสีแดง และ มีค่าเป็น - หมายถึงมีแนวโน้มเป็นสีเขียว และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (yellowness-blueness, b^*) โดยค่าเป็น + หมายถึงมีแนวโน้มความเป็นสีเหลือง และ มีค่าเป็น - หมายถึงมีแนวโน้มเป็นสีน้ำเงิน (Lamberts et al., 2007; Good, 2002) แต่ละตัวอย่าง วัด 3 ครั้ง ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 การทดลอง

5.3 การยอมรับทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านที่เตรียมได้ในข้อ 2 โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดของข้าวฮาง 2 ขนาด และอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการผลิตโจ๊กข้าวฮาง 6 ระดับ (2×6 factorial in CRD) โดยออกแบบการทดลอง Balance Incomplete Block (BIB) in CRD ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 2 การทดลอง โดยแต่ละซ้ำกำหนดให้ $t=12$, $b=41$, $k=3$, $r=11$ และ $\lambda=2$ ตามลำดับ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่มีอายุตั้งแต่ 17 ปีขึ้นไป ทำการประเมินความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความหนืด และการยอมรับโดยรวมของโจ๊กข้าวฮาง กำหนดให้ผู้ทดสอบชิมแต่ละคนได้ชิมตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ให้คะแนนความชอบในด้านต่างๆ ดังกล่าว โดยระดับคะแนน 1-9 คะแนน (คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด ตามลำดับ)

6. การศึกษาโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง

6.1 ลักษณะโครงสร้างของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง

การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งตรวจสอบโดยใช้กล้อง Scanning electron microscopy (SEM, JEOL, model JSM-5410 LV, Tokyo, Japan) at กำลังขยาย 50X magnification โดยถ่ายภาพและเก็บภาพตัวอย่างที่ขนาดภาพ 1600 X 2136 พิกเซลในนามสกุล bmp format ตัวอย่างโจ๊กข้าวฮางที่เตรียมในสภาวะต่างๆ และอบแห้งในแต่ละสภาวะนั้น นำมาสังเกตลักษณะโครงสร้างทั้งหมด 20 ภาพต่อ 1 ตัวอย่าง

6.2 ความชื้นของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง

วัดความชื้น (% Dry basis) ตามวิธีการของ AOAC (1984)

6.3 ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง ตรวจสอบตามวิธีการของ Singh et al. (2008) และ Rhim, Koh, & Kim (2011) โดยการจุ่มตัวอย่างในน้ำร้อนอุณหภูมิ 2 ระดับ ได้แก่ 40°C และ 80°C จากนั้นกรองตัวอย่างในกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ในสภาวะสุญญากาศนาน 10 วินาทีซึ่งน้ำหนักโจ๊กข้าวฮางก่อนและหลังการดูดกลืนน้ำกลับ (ความละเอียด ± 0.0001 g) คำนวณความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับแสดงดังสมการที่ 1)

$$R = \frac{M}{M_0} \quad 1)$$

M น้ำหนักของตัวอย่างหลังการดูดกลืนน้ำที่อุณหภูมิ 100°C นาน 10 นาที

M_0 น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการดูดกลืนน้ำที่อุณหภูมิ 100°C นาน 10 นาที

7. การศึกษาคุณภาพของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคินรูป

7.1 ลักษณะการไหลของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคินรูป

นำโจ๊กข้าวฮางอบแห้งมาดูดกลืนน้ำกลับที่อัตราส่วนเดียวกันกับอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำก่อนการอบแห้ง วิธีการวัดลักษณะการไหลของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคินรูปใช้วิธีการตามข้อ 5.1

7.2 สีของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคั่วรูป

นำโจ๊กข้าวฮางอบแห้งมาตุ๋นน้ำกลั่นที่อัตราส่วนเดียวกันกับอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำก่อนการอบแห้ง วิธีวัดสีใช้วิธีการตามข้อ 5.2

8. การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีทางสถิติ

การวางแผนการทดลองโดยใช้หลักการแฟคทอเรียล โดยวิเคราะห์ผลของขนาดข้าวฮางและอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงวิทยาการระส การยอมรับทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวฮาง รวมทั้งผลของขนาดข้าวฮาง อัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำ และสภาวะการอบแห้งที่มีต่อสมบัติเชิงกายภาพของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง และโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคั่วรูป โดยวิธี univariate full-factorial analysis of variance (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 12 (SPSS, Chicago, IL) วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range tests ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อคุณภาพของโจ๊กข้าวฮาง

1.1 สมบัติเชิงวิทยาการระสและสมบัติเชิงกายภาพของโจ๊กข้าวฮาง

Tables 1-3 แสดงผลของขนาดและอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่มีผลต่อความหนืดและสีของโจ๊กข้าวฮาง จากผลการทดลองพบว่าขนาด และอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อความหนืด และค่าสีของโจ๊กข้าวฮาง โจ๊กข้าวฮางมีความหนืดระหว่าง 0.08 ถึง 14.03 Pa.s ความสว่าง ระหว่าง 60.34 ถึง 71.80 ค่าความเป็นสีแดงระหว่าง -2.03 ถึง 3.47 และความเป็นสีเหลืองระหว่าง 6.59 ถึง 21.76 ตามลำดับ ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการเตรียมโจ๊ก

Table 1 Average viscosity and color of Hang rice porridge prepared from different Hang rice sizes

Hang rice size	Viscosity (Pa.s)	L^*	a^*	b^*
0.5 mm	2.97 ± 0.23^b	65.07 ± 0.28^b	1.75 ± 0.38^a	19.32 ± 0.74^a
2 mm	4.20 ± 0.25^a	66.20 ± 4.82^a	-1.37 ± 0.13^b	10.11 ± 0.63^b

^{a,b}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

โจ๊กข้าวฮางเป็นของไหลประเภท pseudoplastic fluid กล่าวคือ มีความหนืดที่ลดลง เมื่อมีการให้แรงในการกวน หรือคนนานขึ้น นอกจากนี้พบว่าขนาดข้าวฮาง และ อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการแปรรูปโจ๊กข้าวฮาง ส่งผลต่อลักษณะการไหลของโจ๊ก ข้าวฮาง โจ๊กที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) มากกว่ากรณีที่เตรียมจากขนาด 2 มิลลิเมตร โดยโจ๊กที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็ก ที่สัดส่วนข้าวต่อน้ำเดียวกันพบว่ามีความหนืดต่ำกว่ากรณีการเตรียมจากข้าวฮางที่มีขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจาก ข้าวฮางขนาดเล็กนั้นเมื่อได้รับน้ำจะเกิดเจลลาคีใน เซลล์ โดยมีการดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างของเม็ดแป้งได้ในปริมาณหนึ่ง ส่วนน้ำที่เหลือ จะกระจายอยู่ภายนอกเม็ดแป้ง ส่วนข้าวฮางขนาดใหญ่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ในระหว่างการเกิดเจลลาคีในเซลล์ได้มากกว่าส่งผลให้มีความหนืดสูงตามลำดับ สำหรับ ผลของอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการเตรียมโจ๊กพบว่า ปริมาณน้ำส่งผลต่อลักษณะ การเกิดเจลลาคีในเซลล์ของแป้ง เม็ดแป้งในข้าวฮางเป็นลักษณะของแป้งพรีเจล กล่าวคือเป็นแป้งที่ได้รับความร้อนโดยการนึ่ง และผ่านการกระบวนการอบแห้ง การนำ ข้าวฮางมาแปรรูปเป็นโจ๊ก เมื่อเติมน้ำในปริมาณน้อย เม็ดแป้งมีการดูดซับน้ำไว้ที่ผิว ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียว และมีความหนืดสูง เมื่อมีการเติมมากขึ้นน้ำสามารถแทรก ซึมเข้าไปภายในของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งเกิดการบวมพองและจัดเรียงโครงสร้างกันอย่าง หลวมๆ ความหนืดของโจ๊กจึงลดลงตามการเพิ่มปริมาณน้ำในโจ๊กข้าวฮาง โจ๊กข้าวฮางมี ลักษณะที่สามารถคนได้ อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งมีการ คายน้ำที่อยู่ในโครงสร้างออก ส่งผลให้โจ๊กมีลักษณะของการแยกชั้นระหว่างข้าวและน้ำ

Table 2 Average viscosity and color of Hang rice porridge prepared from different Hang rice to water ratios

Hang rice: water	Viscosity (Pa.s)	L^*	a^*	b^*
1:4	12.12±2.55 ^a	69.25±2.82 ^a	1.59± 2.07 ^a	18.84±4.09 ^a
1:6	5.34±0.77 ^b	68.85±1.87 ^a	0.86±2.02 ^b	16.28±4.55 ^b
1:8	2.71±0.97 ^c	67.26±1.60 ^b	0.40±1.94 ^c	15.31±5.07 ^c
1:10	0.73±0.39 ^d	64.87±0.50 ^c	-0.19±1.66 ^d	14.11±5.30 ^d
1:12	0.36±0.27 ^d	62.88±1.26 ^d	-0.56±1.50 ^e	12.86±5.84 ^e
1:14	0.29±0.23 ^d	61.22±0.98 ^e	-0.95±1.23 ^f	11.73±5.71 ^f

^{a,b,c,...,f}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Table 3 Viscosity and color of Hang rice porridge prepared from different Hang rice sizes and Hang rice to water ratios

Hang rice size	Hang rice: water	Viscosity (Pa.s)	L^*	a^*	b^*
0.5 mm	1:4	10.21±2.29 ^b	66.70±0.35 ^{de}	3.47±0.28 ^a	21.76±0.22 ^a
	1:6	4.72±0.42 ^c	67.26±0.30 ^d	2.69±0.30 ^b	20.41±0.42 ^b
	1:8	2.30±0.92 ^{de}	66.00±0.22 ^{ef}	2.14±0.42 ^c	19.88±0.74 ^{bc}
	1:10	0.40±0.11 ^f	65.09±0.26 ^{fg}	1.32±0.22 ^d	18.92±0.60 ^{cd}
	1:12	0.12±0.04 ^f	63.29±0.44 ^h	0.78±0.56 ^e	18.12±1.06 ^d
	1:14	0.08±0.03 ^f	62.10±0.14 ⁱ	0.13±0.52 ^f	16.88±1.41 ^e
2.0mm	1:4	14.03±0.32 ^a	71.80±0.51 ^a	-0.29±0.10 ^g	14.32±0.18 ^f
	1:6	5.95±0.42 ^c	70.43±1.03 ^b	-0.97±0.21 ^h	12.15±0.70 ^g
	1:8	3.11±0.48 ^d	68.52±1.28 ^c	-1.35±0.27 ^{hi}	10.73±0.92 ^h
	1:10	1.05±0.19 ^{ef}	64.65±0.64 ^g	-1.71±0.05 ^{jk}	9.29±0.53 ⁱ
	1:12	0.60±0.04 ^f	61.46±1.13 ⁱ	-1.89±0.07 ^k	7.59±1.01 ^j
	1:14	0.49±0.06 ^f	60.34±0.23 ^j	-2.03±0.11 ^k	6.59±0.45 ^j

a,b,c,...,j, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

กระบวนการเก็บเกี่ยวและแปรรูป ส่งผลต่อสีของข้าว โดยทั่วไปที่ส่วนนอกของเมล็ดข้าว (Pericarp) ซึ่งประกอบด้วย เปลือกข้าว และรำข้าว มีสีแดง และสีเหลือง มากกว่าภายในเมล็ดข้าว (Endosperm) (Lamberts et al., 2007) ขนาดของข้าวฮาง และอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการเตรียมโจ๊กมีอิทธิพลร่วมกันต่อสี ($P \leq 0.05$) ข้าวฮางเป็นข้าวที่มีสีเหลืองทอง การเพิ่มปริมาณน้ำในการเตรียมโจ๊กจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองที่ลดลง

1.2 การยอมรับทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวฮาง

Tables 4-6 แสดงผลของขนาดและอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวฮาง จากผลการทดลองพบว่าขนาดของข้าวฮางที่

ใช้มีอิทธิพลต่อการยอมรับในด้านสี รสชาติ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ โดยผู้บริโภคให้การยอมรับโจ๊กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2 มิลลิเมตร ทั้งนี้ เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์โจ๊กที่มีลักษณะ heterogeneous ซึ่งพบในโจ๊กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2 มิลลิเมตรดังกล่าว

Table 4 Average consumer acceptance scores of Hang rice porridge prepared from different Hang rice sizes

Hang rice size	Appearance ^{ns}	Color	Flavor ^{ns}	Taste	Viscosity ^{ns}	Overall acceptance
0.5 mm	5.46±1.04	5.79±1.57 ^b	5.91± 1.37	5.79±1.60 ^b	5.20±1.25	5.75±1.60 ^b
2 mm	5.31±1.19	6.18±1.40 ^a	6.15±1.56	6.37±1.57 ^a	5.19±0.84	6.16±1.29 ^a

^{a,b,c}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Acceptability was scored on 9-point hedonic scales where 1= dislike extremely, through 9=like extremely

Table 5 Average consumer acceptance scores of Hang rice porridge prepared from different Hang rice to water ratios

Hang rice: water	Appearance	Color	Flavor	Taste	Viscosity	Overall acceptance
1:4	3.96±1.56 ^b	5.28±1.62 ^c	5.53± 1.84 ^b	4.91±2.04 ^b	3.46±2.20 ^c	4.53±1.65 ^c
1:6	4.26±1.81 ^b	5.57±1.95 ^{bc}	5.61±1.88 ^{bc}	5.51±1.98 ^b	3.96±1.92 ^c	4.85±1.81 ^c
1:8	5.57±1.54 ^a	6.04±1.72 ^{ab}	6.04±1.55 ^{abc}	6.44±1.59 ^a	5.48±2.16 ^b	6.24±1.54 ^b
1:10	6.26±1.23 ^a	6.26±1.43 ^a	6.20±1.37 ^{ab}	6.57±1.37 ^a	6.30±1.45 ^a	6.61±1.23 ^{ab}
1:12	6.17±1.36 ^a	6.31±1.14 ^a	6.46±1.33 ^a	6.46±1.72 ^a	6.35±1.63 ^a	6.91±1.36 ^a
1:14	6.11±1.42 ^a	6.46±1.38 ^a	6.33±1.45 ^a	6.61±1.60 ^a	5.65±2.03 ^{ab}	6.61±1.42 ^{ab}

^{a,b,c}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Acceptability was scored on 9-point hedonic scales where 1= dislike extremely, through 9=like extremely

จาก Table 5 พบว่าอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำมีอิทธิพลคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของโจ๊กข้าวฮาง โดยโจ๊กที่ผลิตจากอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:10 1:12 และ 1:14 น้ำหนักต่อน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่ผู้บริโภคให้การยอมรับสูงในทุกลักษณะ โดยมีคะแนนการยอมรับอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยจนถึงชอบปานกลาง เมื่อนำผลพิจารณาพร้อมกับในกรณีของความหนืดของโจ๊กข้าวฮาง พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับโจ๊กข้าวฮางที่มีลักษณะเนื้อโจ๊กเป็น heterogeneous (เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2 มิลลิเมตร) และมีความหนืดน้อย (อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำ 1:10 1:12 และ 1:14 น้ำหนักต่อน้ำหนัก)

Table 6 Mean consumer acceptance scores of Hang rice porridge prepared from different Hang rice to water ratios

Hang rice size	Hang rice: water	Appearance	Color	Flavor	Taste	Viscosity	Overall acceptance
0.5	1:4	3.44±2.21 ^f	4.89±1.91 ^b	5.30±2.02 ^{bc}	4.30±2.16 ^d	3.48±2.34 ^d	3.96±1.79 ^f
	1:6	3.93±2.04 ^{ef}	5.00±1.94 ^b	5.00±1.57 ^c	4.96±1.87 ^{cd}	3.81±1.84 ^d	4.44±2.01 ^{ef}
	1:8	6.22±1.37 ^{ab}	6.19±1.62 ^a	6.30±1.56 ^a	6.48±1.40 ^{ab}	5.85±1.94 ^{ab}	6.56±1.60 ^{abc}
	1:10	6.22±1.69 ^{ab}	5.96±1.65 ^a	6.04±1.37 ^{ab}	6.22±1.53 ^{ab}	6.15±1.54 ^{ab}	6.22±1.37 ^{bc}
	1:12	6.30±1.75 ^{ab}	6.22±1.58 ^a	6.37±1.33 ^a	6.15±1.88 ^{ab}	6.22±1.85 ^{ab}	6.52±1.50 ^{abc}
	1:14	6.67±1.41 ^a	6.52±1.53 ^a	6.48±1.42 ^a	6.67±1.84 ^a	5.74±2.23 ^{ab}	6.85±1.38 ^{ab}
2.0	1:4	4.48±1.78 ^{de}	5.67±1.18 ^{ab}	5.93±1.62 ^{ab}	5.52±1.74 ^{bc}	3.44±2.08 ^d	5.11±1.28 ^{de}
	1:6	4.59±1.78 ^{de}	6.15±1.81 ^a	6.07±2.04 ^{ab}	6.07±1.96 ^{ab}	4.11±2.03 ^{cd}	5.26±1.51 ^{de}
	1:8	4.93±2.07 ^{cd}	5.89±1.83 ^a	5.78±1.53 ^{abc}	6.41±1.78 ^{ab}	5.11±2.34 ^{bc}	5.93±1.44 ^{cd}
	1:10	6.30±0.99 ^{ab}	6.56±1.12 ^a	6.37±1.36 ^a	6.93±1.11 ^a	6.44±1.37 ^a	7.00±0.96 ^{ab}
	1:12	6.04±1.74 ^{ab}	6.41±1.25 ^a	6.56±1.34 ^a	6.78±1.53 ^a	6.48±1.40 ^a	7.30±1.10 ^a
	1:14	5.56±1.80 ^{bc}	6.41±1.25 ^a	6.19±1.49 ^{ab}	6.56±1.34 ^a	5.56±1.85 ^{ab}	6.37±1.45 ^{bc}

a,b,c,...,f, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Acceptability was scored on 9-point hedonic scales where 1= dislike extremely, through 9=like extremely

จากผลคะแนนการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวฮาง พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับอยู่ในระดับไม่ชอบปานกลางจนถึงชอบปานกลาง ขึ้นอยู่กับขนาดข้าวฮาง และอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ใช้ในการเตรียมโจ๊ก โดยผลจากการวิเคราะห์ความแตกต่างของการยอมรับทางประสาทสัมผัสในทางสถิติ พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2.0 มิลลิเมตร และใช้อัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำที่ 1:10 1:12 และ 1:14

2. ความชื้น โครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง

2.1 ความชื้น

Fig. 2 แสดงปริมาณความชื้น (%db) ของโจ๊กข้าวฮางที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกคู่ที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการทดลองพบว่าโจ๊กข้าวฮางอบแห้งมีความชื้นระหว่าง 4.5-7.8% (d.b.) ขึ้นกับขนาดข้าวฮาง อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ใช้ในการเตรียมโจ๊กและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง การอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกคู่ เป็นวิธีการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพ ตัวอย่างอาหารได้รับความร้อนโดยตรงจากลูกกลิ้ง น้ำในอาหารสามารถระเหยได้สูงภายในเวลาสั้น ความชื้นของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมจากสภาวะต่างกัน จึงไม่แตกต่างกันมากนัก

จาก Fig. 2 พบว่าโจ๊กข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็ก คือ 0.5 มิลลิเมตร มีแนวโน้มการลดลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการอบแห้งที่ต่ำกว่ากรณีที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดใหญ่ คือ 2.0 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากข้าวฮางขนาดเล็กมีพื้นที่ในการสัมผัสความร้อนมาก จึงสามารถระเหยน้ำได้มาก สำหรับผลปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมโจ๊กข้าวฮางพบว่า การเพิ่มสัดส่วนของน้ำในผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อปริมาณน้ำของผลิตภัณฑ์อบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของโจ๊กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเดียวกัน และใช้อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน พบว่าการเพิ่มสัดส่วนน้ำที่ใช้ในการเตรียมไม่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งมากนัก (Table 7) โดยพบว่าโจ๊กข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2.0 มิลลิเมตร และอบแห้งที่อุณหภูมิ 125°C มีความชื้นเหลือในผลิตภัณฑ์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น

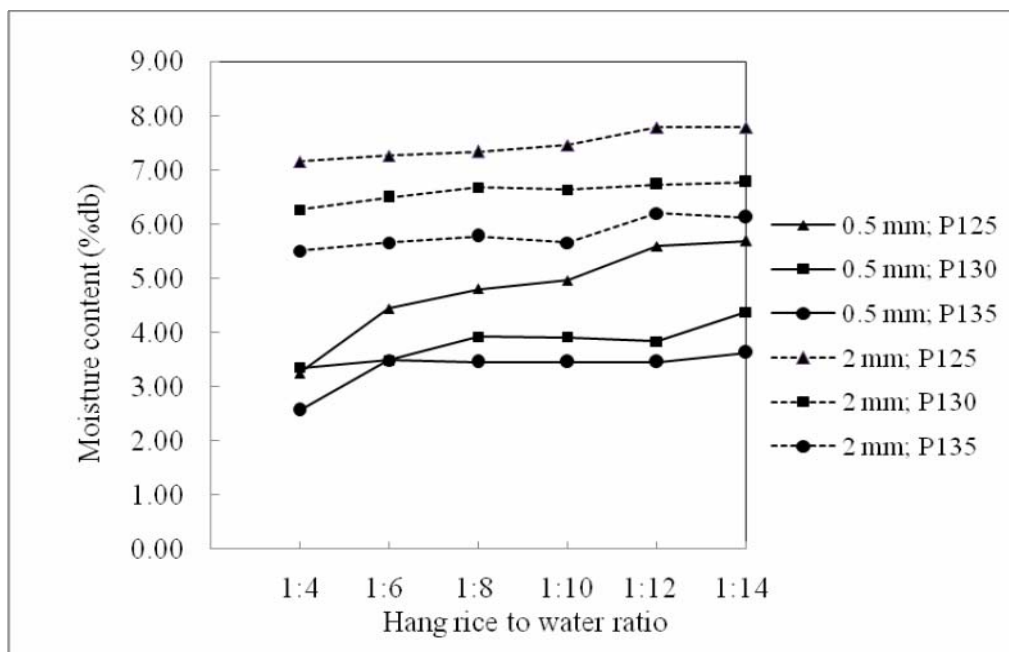


Fig. 2 Moisture content of instant Hang rice porridge; P125, P130 and P135 represent Hang rice dried at temperature of 125°C, 130°C and 135°C, respectively.

Table 7 Moisture content (% dry basis) of Hang rice porridge and the dried product prepared from different sizes and Hang rice to water ratio

Hang rice to water ratio	Hang rice size (mm)	P0	P125	P130	P135
1:4	0.5	428.61±1.09	3.65±0.56 ^a	3.35±0.08 ^a	2.57±0.34 ^a
	2.0	412.19±7.96	7.20±0.06 ^d	6.27±0.15 ^d	5.51±0.05 ^c
1:6	0.5	617.75±16.13	4.64±0.28 ^b	3.49±0.03 ^{ab}	3.49±0.59 ^b
	2.0	617.91±7.07	7.21±0.07 ^d	6.49±0.37 ^d	5.66±0.03 ^{cd}
1:8	0.5	831.35±13.22	4.88±0.11 ^b	3.92±0.01 ^{bc}	3.45±0.04 ^b
	2.0	927.86±0.15	7.21±0.07 ^{de}	6.49±0.37 ^d	5.66±0.03 ^{cde}
1:10	0.5	1046.50±4.40	5.01±0.05 ^b	3.92±0.05 ^{bc}	3.46±0.08 ^b
	2.0	971.70±9.56	7.67±0.29 ^{de}	6.64±0.34 ^d	5.66±0.00 ^{cd}
1:12	0.5	1340.24±61.15	6.73±0.19 ^c	3.84±0.5 ^{abc}	3.45±0.14 ^b
	2.0	1288.12±9.93	7.65±0.20 ^{de}	6.74±0.02 ^d	6.19±0.05 ^e
1:14	0.5	1455.89±10.63	6.75±0.09 ^c	4.38±0.52 ^c	3.63±0.03 ^b
	2.0	1447.40±1.28	7.81±0.03 ^d	6.78±0.11 ^d	6.13±0.13 ^{de}

P0 represents moisture content of Hang rice porridge; P125, P130 and P135 represent Hang rice dried at temperature of 125°C, 130°C and 135°C, respectively.

[P125, P130 and P135]: ^{a,b,c,d} Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

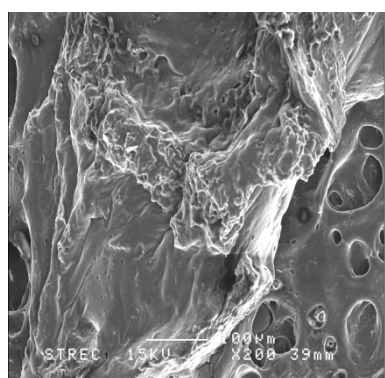
[P125, P130 and P135]: ^{A,B,C} Means with different letters in the same row are significantly different ($P \leq 0.05$)

2.2 โครงสร้างของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง

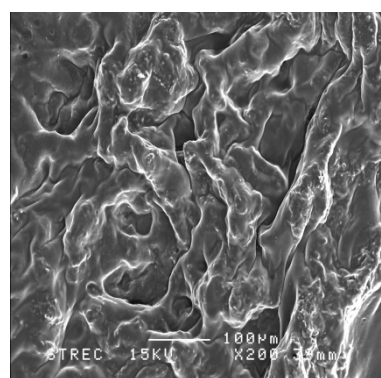
กระบวนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกคู่ขนาน ผลิตภัณฑ์มีการสัมผัสความร้อนโดยตรงจากลูกกลิ้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่น หรือเป็นเกล็ด สำหรับการอบแห้งโจ๊กข้าวฮางโดยใช้เครื่องดังกล่าว ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีลักษณะเป็นแผ่น โดยสังเกตเห็นส่วนที่เป็นสีขาวของแป้งจากข้าว และส่วนที่เป็นสีเหลืองจากส่วนของ Pericarp ที่เป็นองค์ประกอบในข้าวฮาง (เนื่องจากข้าวฮางเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีเพียงครั้งเดียว ยังคงมีส่วนของ Pericarp ปนอยู่ในโจ๊กข้าวฮาง) กระจายปนกันอยู่ จากภาพลักษณะพื้นผิวของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมจากสภาวะ

ต่าง ๆ และอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายระดับจุลภาค Scanning Electron Microscope (Fig. 3) สังเกตเห็นส่วนของแป้งที่เกิดเจลลาคือในเซชันและผ่านกระบวนการอบแห้ง และส่วนของ Pericarp ซึ่งเป็นส่วนประกอบของข้าวฮาง

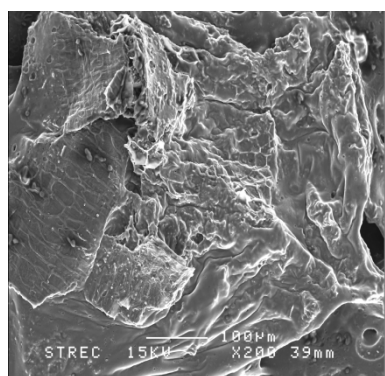
เมื่อพิจารณาผลของขนาดและอัตราส่วนข้าวฮางต่อน้ำในการเตรียมที่มีต่อลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อบแห้งโดยการสังเกตจาก จากภาพลักษณะพื้นผิวของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งพบว่า โจ๊กข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็ก และมีสัดส่วนของน้ำในปริมาณที่น้อย มีการสูญเสียโครงสร้างเนื่องจากการให้ความร้อนสูงกว่าในกรณีที่เตรียมจากข้าวฮางที่มีขนาดใหญ่ และมีสัดส่วนของน้ำในปริมาณที่สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีลักษณะที่สอดคล้องกันในอุณหภูมิการอบแห้งทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ



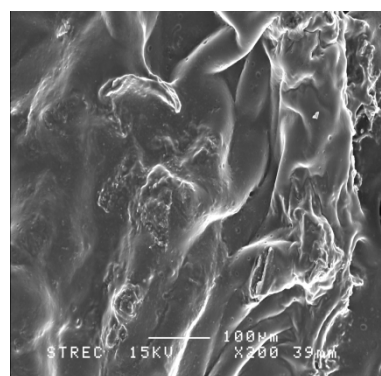
P125/1:6/0.5



P125/1:6/2

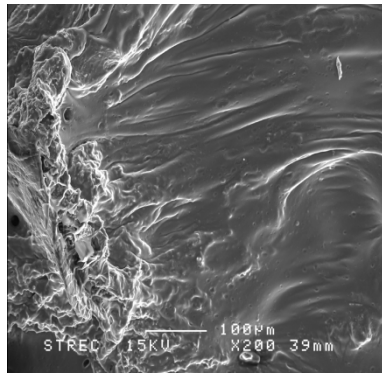


P125/1:8/0.5

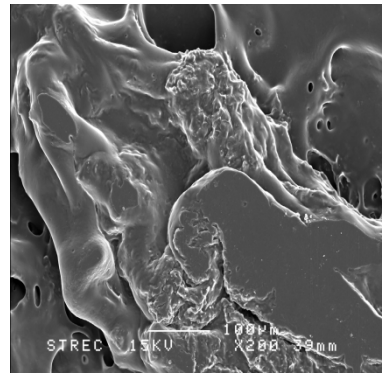


P125/1:8/2

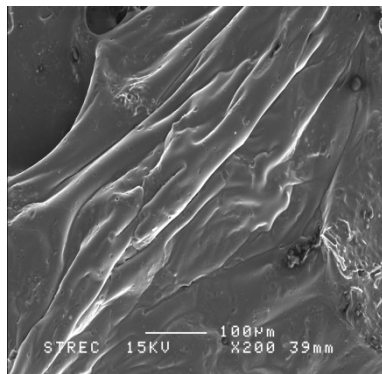
Fig. 3 SEM images of instant porridge dried at 125°C prepared from Hang rice to water ratios of 1:6 to 1:12 and Hang rice sizes of 0.5-2.0 mm



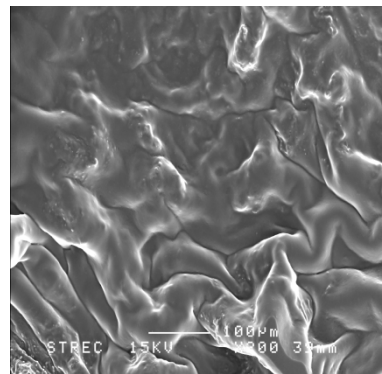
P125/1:10/0.5



P125/1:10/2



P125/1:12/0.5



P125/1:12/2

Fig. 3 (cont'd) SEM images of instant porridge dried at 125°C prepared from Hang rice to water ratios of 1:6 to 1:12 and Hang rice sizes of 0.5-2.0 mm

2.3 ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง

Table 8 แสดงความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมจากสภาวะต่างๆ อบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ และใช้อุณหภูมิในการดูดกลืนน้ำกลับ 2 ระดับอุณหภูมิ ผลการทดลองพบว่าโจ๊กข้าวฮางอบแห้งมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับระหว่าง 4.66 ถึง 8.93 เท่า ขึ้นกับสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียม อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง รวมทั้งอุณหภูมิการดูดกลืนน้ำกลับของตัวอย่าง ทั้งนี้ผลการทดลองพบว่าการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กข้าวฮางที่อุณหภูมิ 80°C มีอัตราส่วนที่สูงกว่าในกรณีการดูดกลืนที่ 40°C ในทุกสภาวะการเตรียม ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการดูดกลืนน้ำกลับของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งเพิ่มขึ้นจะช่วยให้มีการขยายของขนาดอนุภาค หรือ การคืน

ตัวของโครงสร้างของโຈ้กข้าวฮางอบแห้งที่ดีขึ้นจึงทำให้โຈ้กข้าวฮางมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์โຈ้กข้าวฮางอบแห้งเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของขนาดข้าวฮางที่ใช้ในการเตรียมโຈ้ก พบว่าโຈ้กข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็ก มีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับได้น้อยกว่ากรณีที่เตรียมจากข้าวฮางที่มีขนาดใหญ่กว่า โดยปกติแล้วตัวอย่างที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสและดูดซึมน้ำได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามโຈ้กข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็ก เมื่อนำมาอบแห้ง ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากการให้ความร้อนที่สูง เซลล์มีการหดตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงกว่ากรณีที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2 mm และเมื่อนำมาดูดกลืนน้ำกลับส่งผลให้มีค่าการดูดกลืนน้ำกลับน้อยตามลำดับ

Table 8 Rehydration ratio of instant Hang rice porridge prepared from different

Hang rice sizes and Hang rice to water ratio							
Hang rice size	Hang rice to water ratio	P125		P130		P135	
		40°C	80°C	40°C	80°C	40°C	80°C
0.5	1:4	4.66 $\pm$ 0.29 ^{aA}	5.30 $\pm$ 1.08 ^{aA}	4.46 $\pm$ 0.34 ^{aA}	6.28 $\pm$ 0.73 ^{aAB}	4.87 $\pm$ 1.20 ^{aA}	6.41 $\pm$ 0.68 ^{aB}
	1:6	5.23 $\pm$ 0.36 ^{bA}	6.17 $\pm$ 1.65 ^{abA}	5.05 $\pm$ 0.63 ^{bA}	6.47 $\pm$ 0.89 ^{aAB}	5.79 $\pm$ 0.95 ^{bA}	7.71 $\pm$ 0.47 ^{bC}
	1:8	5.24 $\pm$ 0.21 ^{bA}	6.18 $\pm$ 1.18 ^{abA}	5.29 $\pm$ 0.55 ^{bcA}	6.84 $\pm$ 0.40 ^{aAB}	5.53 $\pm$ 0.22 ^{abA}	7.35 $\pm$ 0.56 ^{bB}
	1:10	5.22 $\pm$ 0.25 ^{bA}	6.42 $\pm$ 1.64 ^{abA}	5.74 $\pm$ 0.37 ^{cB}	7.12 $\pm$ 0.92 ^{aA}	6.15 $\pm$ 0.31 ^{bC}	7.50 $\pm$ 0.73 ^{bA}
	1:12	5.14 $\pm$ 0.59 ^{bA}	7.08 $\pm$ 0.62 ^{bAB}	5.08 $\pm$ 0.44 ^{bA}	6.80 $\pm$ 0.54 ^{aA}	5.76 $\pm$ 0.16 ^{bB}	7.60 $\pm$ 0.63 ^{bB}
2.0	1:4	5.57 $\pm$ 0.93 ^{aA}	6.35 $\pm$ 0.21 ^{aA}	5.31 $\pm$ 0.71 ^{aA}	6.18 $\pm$ 0.35 ^{aA}	6.25 $\pm$ 0.60 ^{aA}	7.49 $\pm$ 0.38 ^{aB}
	1:6	5.40 $\pm$ 0.61 ^{aA}	7.69 $\pm$ 0.96 ^{bA}	6.69 $\pm$ 0.40 ^{bB}	8.15 $\pm$ 0.53 ^{cA}	6.54 $\pm$ 0.45 ^{abB}	7.71 $\pm$ 0.16 ^{aA}
	1:8	6.24 $\pm$ 0.50 ^{aA}	8.29 $\pm$ 0.25 ^{bAB}	6.98 $\pm$ 0.57 ^{bAB}	7.44 $\pm$ 1.18 ^{bcA}	7.10 $\pm$ 0.84 ^{abB}	8.53 $\pm$ 0.58 ^{bB}
	1:10	5.84 $\pm$ 0.85 ^{aA}	6.14 $\pm$ 0.91 ^{aA}	6.49 $\pm$ 0.42 ^{bAB}	8.05 $\pm$ 0.44 ^{cB}	7.04 $\pm$ 0.75 ^{abB}	8.72 $\pm$ 0.49 ^{bB}
	1:12	5.61 $\pm$ 0.53 ^{aA}	6.28 $\pm$ 1.57 ^{aA}	6.39 $\pm$ 0.51 ^{bA}	6.84 $\pm$ 1.10 ^{abA}	7.49 $\pm$ 1.19 ^{bB}	8.93 $\pm$ 0.74 ^{bB}

P125, P130 and P135 represent Hang rice dried at temperature of 125°C, 130°C and 135°C, respectively.

P0 represents viscosity of Hang rice porridge; P125, P130 and P135 represent viscosity of rehydrated Hang rice dried at temperature of 125°C, 130°C and 135°C, respectively.

[P125, P130 and P135]: ^{a,b,c,d} Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

[P125, P130 and P135]: ^{A,B,C} Means with different letters in the same row are significantly different ($P \leq 0.05$)

3. คุณภาพของโจ๊กข้าวสางอบแห้งหลังการคั่วรูป

Table 9 แสดงค่าความหนืดของโจ๊กข้าวสางอบแห้งหลังการคั่วรูป ผลการทดลองสอดคล้องกับในกรณีค่าความหนืดของโจ๊กข้าวสางที่แสดงใน Table 1-3 กล่าวคือ ขนาดและอัตราส่วนข้าวสางต่อน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อความหนืด ของโจ๊กข้าวสาง โจ๊กข้าวสาง

มีความหนืดระหว่าง 0.05 ถึง 14.03 Pa.s ตามลำดับ ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการเตรียมโจ๊ก และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

Table 9 Viscosity (Pa.s) of rehydrated Hang rice porridge prepared from different sizes and Hang rice to water ratio

Hang rice size	Hang rice: water	P0	P125	P130	P135
0.5 mm	1:4	10.21±2.29 ^b	8.77±3.50 ^b	8.84±0.89 ^b	8.05±0.33 ^a
	1:6	4.72±0.42 ^c	3.66±0.12 ^c	3.24±0.41 ^c	2.98±0.17 ^{bc}
	1:8	2.30±0.92 ^{de}	2.11±0.32 ^{de}	2.00±0.14 ^{de}	1.95±0.22 ^c
	1:10	0.40±0.11 ^f	0.30±0.21 ^f	0.26±0.02 ^g	0.21±0.00 ^{ef}
	1:12	0.12±0.04 ^f	0.11±0.04 ^f	0.08±0.02 ^h	0.06±0.01 ^g
	1:14	0.08±0.03 ^f	0.06±0.01 ^g	0.05±0.03 ^h	0.05±0.03 ^g
2.0mm	1:4	14.03±0.32 ^a	12.21±0.29 ^a	10.21±1.44 ^a	9.05±0.58 ^a
	1:6	5.95±0.42 ^c	4.89±1.27 ^c	3.95±0.32 ^c	3.67±0.38 ^b
	1:8	3.11±0.48 ^d	3.01±0.62 ^{de}	2.78±0.12 ^d	2.65±0.44 ^c
	1:10	1.05±0.19 ^{ef}	0.96±0.05 ^e	0.88±0.09 ^f	0.63±0.07 ^d
	1:12	0.60±0.04 ^f	0.45±0.04 ^f	0.32±0.14 ^{fg}	0.21±0.11 ^{ef}
	1:14	0.49±0.06 ^f	0.45±0.05 ^f	0.40±0.06 ^f	0.42±0.04 ^e

P125, P130 and P135 represent Hang rice dried at temperature of 125°C, 130°C and 135°C, respectively.

P0 represents viscosity of Hang rice porridge; P125, P130 and P135 represent viscosity of rehydrated Hang rice dried at temperature of 125°C, 130°C and 135°C, respectively.

[P125, P130 and P135]: ^{a,b,c,...g} Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

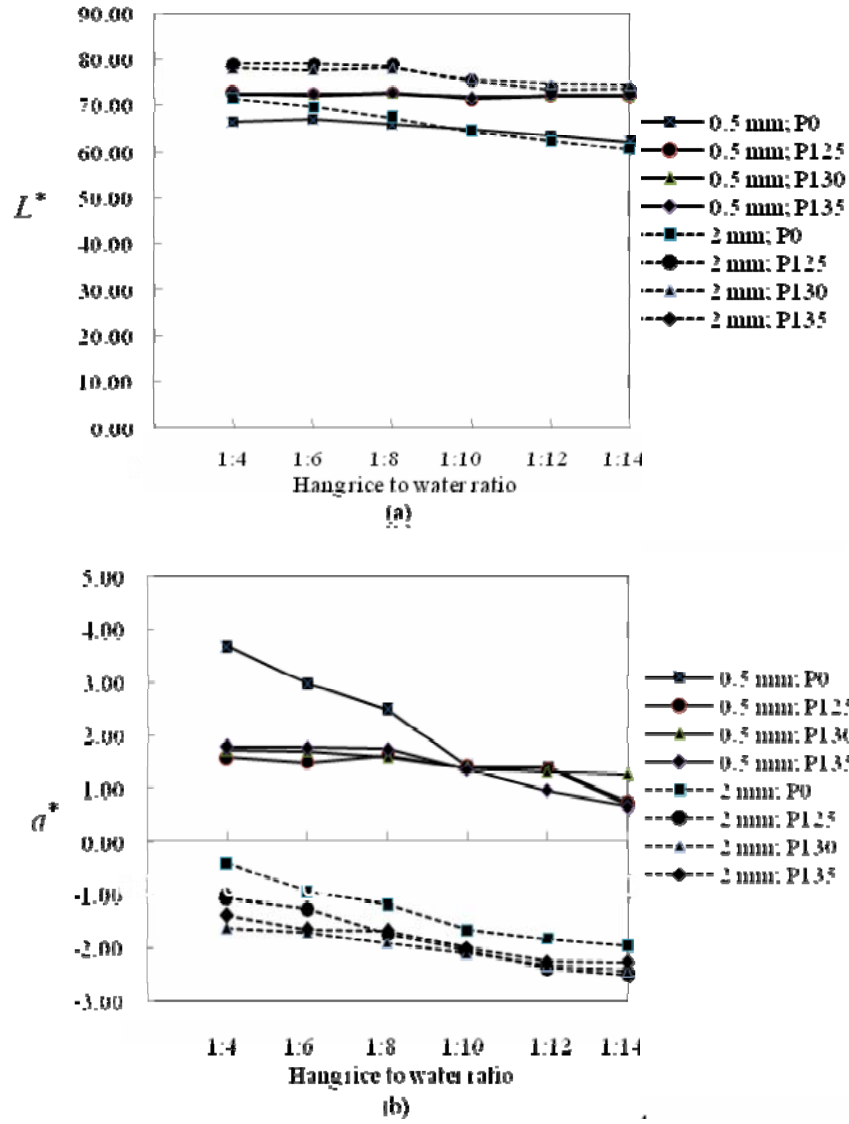


Fig.4 Color, L^* (a), a^* (b) and b^* (c), of rehydrated instant Hang rice porridge: P125, P130 and P135 represent Hang rice porridge dried at temperatures of 125°C, 130°C and 135°C, respectively.

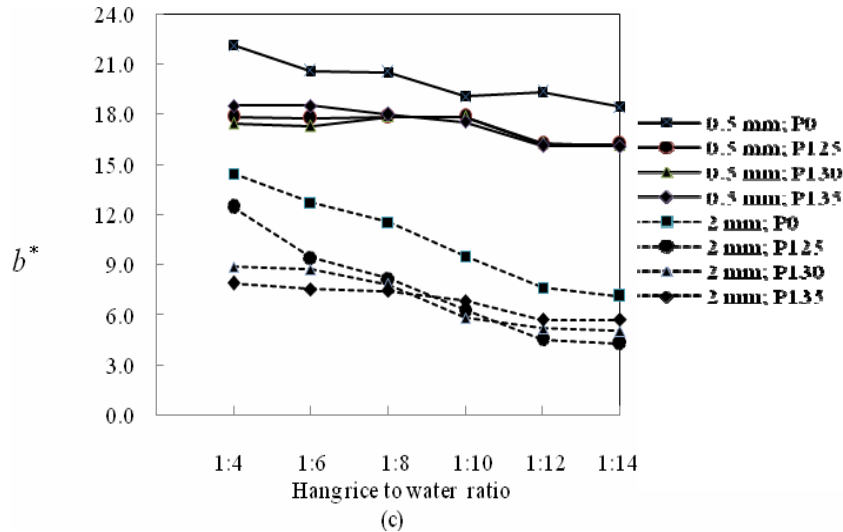


Fig.4 (cont'd) Color, L^* (a), a^* (b) and b^* (c), of rehydrated instant Hang rice porridge: P125, P130 and P135 represent Hang rice porridge dried at temperatures of 125°C, 130°C and 135°C, respectively.

สภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคืนรูป โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 125 (P125) 130 (P130) และ 135°C (P135) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หลังการคืนรูปมีความหนืดที่ลดลงเมื่อเทียบกับโจ๊กข้าวฮางก่อนการอบแห้ง ผลการทดลองสอดคล้องกับในกรณีของการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของโจ๊กข้าวฮางอบแห้ง การให้ความร้อนทำให้โครงสร้างของอาหารเปลี่ยนแปลง มีการหดตัวของโครงสร้าง ทั้งนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์อบแห้งมาคืนรูป โครงสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อน จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้น้อย ส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลงตามลำดับ

โจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคืนรูปมีความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองที่ลดลง (Fig. 4) เมื่อเทียบกับกรณีโจ๊กข้าวฮางก่อนการอบแห้ง (P0) สภาวะการอบแห้งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยพบว่าค่าสีของโจ๊กข้าวฮางอบแห้งหลังการคืนรูป เมื่อเทียบกับกรณีก่อนการอบแห้งนั้น พบว่ามีค่าสีที่ลดลงตามลำดับ

4. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงวิทยาการแสงที่มีต่อโครงสร้าง และสมบัติเชิงกายภาพของผลึกภัณฑ์ออบแห้ง

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงวิทยาการแสงของไจ้ข้าวฮาง และลักษณะโครงสร้างของผลึกภัณฑ์ที่ออบแห้ง ตรวจสอบจากกล้อง SEM พบว่า สมบัติเชิงวิทยาการแสงของไจ้ข้าวฮางมีความสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างของผลึกภัณฑ์ออบแห้ง ไจ้ข้าวฮางที่เตรียมจากขนาดข้าวฮางขนาดเล็ก มีความหนืดที่ต่ำกว่าในกรณีเตรียมจากข้าวฮางที่มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อนำไปอบแห้งโดยการสัมผัสพื้นผิวที่ร้อนโดยตรง โครงสร้างของไจ้ข้าวฮางอบแห้งมีการหดตัวสูง ความร้อนส่งผลให้ลักษณะโครงสร้างของผลึกภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลต่อสมบัติเชิงกายภาพของผลึกภัณฑ์ โดยจากผลการทดลองพบว่าไจ้ข้าวฮางอบแห้งที่เตรียมจากขนาดข้าวฮางขนาดเล็ก มีความสามารถในการดูดกลืนน้ำที่น้อยกว่าในกรณีที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดใหญ่กว่า

สัดส่วนของน้ำที่ใช้ในการเตรียมไจ้ส่งผลต่อความหนืดและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกภัณฑ์ออบแห้ง ไจ้ข้าวฮางที่เตรียมจากสัดส่วนน้ำที่น้อย การจัดเรียงโครงสร้างของเม็ดแป้งภายในข้าวมีการเกาะตัวกันแน่น เมื่อผ่านการอบแห้งจึงมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่สูงกว่าในกรณีที่มีสัดส่วนน้ำที่มาก เมื่อนำไจ้ข้าวฮางอบแห้งที่เพิ่มสัดส่วนของน้ำ ผลึกภัณฑ์มีการหดตัวของโครงสร้างที่น้อยลง ส่งผลให้มีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับที่สูงขึ้นดังกล่าว

บทสรุป

จากการศึกษาผลของวิธีการเตรียมที่มีต่อสมบัติเชิงวิทยากระแสของไจกข้าวฮาง ตลอดจนลักษณะโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อไปยังคุณภาพของไจกอบแห้งหลังการคั้นรูป ขนาดของข้าวฮางและอัตราส่วนของข้าวฮางต่อน้ำมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหนืด สี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไจกข้าวฮาง โดยพบว่าการเพิ่มสัดส่วนปริมาณน้ำส่งผลให้ไจกข้าวฮางมีความหนืด ความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไจกข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 2 มิลลิเมตร มีความหนืดสูง และมีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงกว่าไจกที่เตรียมจากข้าวฮางขนาด 0.5 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าสภาวะการเตรียมไจก ตลอดจนสภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ไจกข้าวฮางที่เตรียมจากข้าวฮางขนาดเล็กมีค่าความหนืดต่ำ เมื่อนำมาอบแห้งจึงมีการหดตัวสูง นอกจากนี้ยังพบว่าภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จากไจกที่เตรียมโดยใช้สัดส่วนปริมาณน้ำมาก มีการหดตัวน้อยกว่า ลักษณะโครงสร้างที่สังเกตได้ส่งผลสืบเนื่องไปยังสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง เมื่อนำข้าวฮางขนาดเล็กมาอบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และการหดตัวสูง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับมีค่าต่ำ การใช้สัดส่วนปริมาณน้ำในการเตรียมไจกน้อย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีการหดตัวสูง และมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำกลับต่ำเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามแนวทางการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงวิทยากระแสที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่มีต่อสมบัติเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยการอธิบายในเชิงปริมาณ เป็นแนวทางที่สามารถในการอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- มกอช. 4000-2546. 2546. ข้าวหอมมะลิไทย. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร. 22 หน้า.
- สมโภชน์ ไหญ่เอี่ยม ช่อลัดดา เทียงพุก วัฒนา วิรุฒิกร และจารุวรรณ ศิริพรรณพร. 2551. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิถึงสำเร็จรูป. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. 14th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC. USA.
- Bhattacharya, S. and Bhattacharya, S. 1996. Rheology of Cooked Debranned Maize Flour Suspensions. Journal of Food Engineering. 27:97-105.
- Good, H. (2002). Measurement of color in cereal products. Cereal Foods World, 4, 5-6.
- Gujral, H.S and Sodhi, N.S. 2002. Back Extrusion Properties of Wheat Porridge (*Dalia*). Journal of Food Engineering. 52: 53-56.
- Helland, M.H., Wicklund, T. and Narvhus. 2002. Effect of Germination Time on Alpha-Amylase Production and Viscosity of Maize Porridge. Food Research International. 35: 315-321.
- Kerdpi boon, S., Kerr, W.L. and Devahastin, S. 2006. Neural Network Prediction of Physical Property Changes of Dried Carrot as a Function of Fractal Dimension and Moisture Content. Food Research International. 39: 1110-1118.
- Kerdpi boon, S. and Devahastin, S. 2007. Fractal Characterization of Some Physical Properties of a Food Product under Various Drying Conditions. Drying Technology. 25: 135-146.
- Lamberts, L., Bie, E.D., Vandeputte, G.E., Veraverbeke, W.S., Derycke, V., Man, W.D., & Delcour, J.A. (2007). Effect of milling on colour and nutritional properties of rice, *Food Chemistry*, 100, 1496-1503.
- Manohar, R.S., Manohar, B. and Rao, P.H. 1998. Rheological Characterization of Wheat Porridge (Cook Dalia), a Semi-Liquid Breakfast Food. Journal of Cereal Science. 27: 103-108.

- Morris, V.J. 1986. Gelation of polysaccharides. *In* J.R. Mitchell and D.A. Ledward, Functional Properties of Food Macromolecules (pp. 121-170), London: Elsevier.
- Ojijo, N.K.O. and Shimoni, E. 2004. Rheological Properties of Fermented Finger Millet (*Eleusine coracana*) Thin Porridge. *Carbohydrate Polymers*. 57: 135-143.
- Rhim, J.W., Koh, S., & Kim, J.M. (2011). Effect of freezing temperature on rehydration and water vapor adsorption characteristics of freeze-dried rice porridge. *Journal of Food Engineering*. 104(4), 484-491.
- Shao, Y.Y., Tseng, Y.H., Chang, Y.H., Lin, J.H. and Lii, C.Y. 2007. Rheological Properties of Rice Amylose Gels and Their Relationships to the Structures of Amylose and its Subfractions. *Food Chemistry*. 103: 1324-1329.
- Singh, G.D., Sharma, R., Bawa, A.S., & Saxena, D.C. (2008). Drying and rehydration characteristics of water chestnut (*Trapa natans*) as a function of drying air temperature. *Journal of Food Engineering*. 87, 213-221.
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K. and Takeda, Y. 2003. A Comparative Study of Edible Canna (*Canna edulis*) Starch from Different Cultivars. Part II. Molecular Structure of Amylose and Amylopectin. *Carbohydrate Polymers*. 54: 489-498.
- Wang, N. and Brennan, J.G. 1995. Changes in Structure, Density and Porosity of Potato during Dehydration. *Journal of Food Engineering*. 24: 61-76.
- Willis, B., Okos, M. and Campanellam O., 1999, Effects of Glass Transition on Stress Development during Drying of a Shrinkage Food System. *In* Proceedings of the Sixth Conference of Food Engineering (CoFE'99), Dallas, Texas, pp. 446-451.

Output ที่ได้จากโครงการ

1. การนำเสนอผลงานในระดับนานาชาติ 1 ผลงาน

Kerdpi boon, S. Puttongsiri, T., Devahastin, S. 2012, "Physical property and sensory acceptance of Hang rice porridge," *International Conference on Food and Applied Bioscience: The 3rd Agro-Industry Conference, Kantary Hill Resort, Chiang Mai, Thailand.* 6-7 February, 2012.

2. ผลงานตีพิมพ์ระดับนานาชาติ

Kerdpi boon, S., Niamnuy, C. and Devahastin, S. Effect of sizes and Hang rice to water ratios on morphological and physical properties of instant Hang rice porridge. *LWT- Food Science and Technology.* [In preparation].

ภาคผนวก ก

Physical Property and Sensory Acceptance of Hang Rice Porridge

Soraya Kerdpi boon^{1*}, Tongchai Puttongsiri¹ and Sakamon Devahastin²

¹ Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

² Department of Food Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126
Pracha u-tid Road, Tungkrui, Bangkok 10140, Thailand

*Corresponding author E-mail: kksoraya@kmitl.ac.th

Abstract

The objective of this work was to study effects of Hang rice sizes (0.5 and 2.0 mm) as well as Hang rice to water ratios (1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 and 1:14, w/w) to physical property and sensory acceptance of the porridge. Different Hang rice sizes and Hang rice to water ratios were used to prepare the porridge by heating in water bath with temperature of 100°C for 90 min. It was found that Hang rice sizes and Hang rice to water ratios had interactive effects on the viscosity, color and sensory score of the final product. The porridge had viscosity, lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) between 0.08-14.03 Pa.s, 60.34-71.80, -2.03 to 3.47 and 6.59-21.76, respectively depending on the sizes and the ratios of Hang rice. Increased water resulted in porridge with decreased viscosity, lightness, redness and yellowness of the porridge ($P \leq 0.05$). Moreover, porridge prepared from Hang rice size of 2 mm had higher viscosity and overall acceptance score than that of 0.5 mm. In addition, porridge prepared from ratios of parboiled rice to water of 1:10, 1:12 and 1:14 were found to have high sensory score in over all acceptances compared to other ratios.

Keywords: Hang rice, parboiled rice, physical property, porridge and sensory.

Physical Property and Sensory Acceptance of Hang Rice Porridge

Soraya Kerdpi boon*[a], Tongchai Puttongsiri [a], and Sakamon Devahastin [b]

[a] Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 15120, Thailand.

[b] Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

*Author for correspondence; e-mail address: kksoraya@kmitl.ac.th

ABSTRACT

The objective of this work was to study effects of Hang rice sizes (0.5 and 2.0 mm) as well as Hang rice to water ratios (1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 and 1:14, w/w) to physical property and sensory acceptance of the porridge. Different Hang rice sizes and Hang rice to water ratios were used to prepare the porridge by heating in water bath with temperature of 100°C for 90 min. It was found that Hang rice sizes and Hang rice to water ratios had interactive effects on the viscosity, color and sensory score of the final product. The porridge had viscosity, lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) between 0.08-14.03 Pa.s, 60.34-71.80, -2.03 to 3.47 and 6.59-21.76, respectively depending on the sizes and the ratios of Hang rice. Increased water resulted in porridge with decreased viscosity, lightness, redness and yellowness of the porridge ($P \leq 0.05$). Moreover, porridge prepared from Hang rice size of 2 mm had higher viscosity and overall acceptance score than that of 0.5 mm. In addition, porridge prepared from ratios of parboiled rice to water of 1:10, 1:12 and 1:14 were found to have high sensory score in over all acceptances compared to other ratios.

Keywords: Hang rice; Parboiled rice; Physical property; Porridge; Sensory.

1. INTRODUCTION

Porridge is well-known as one of traditional products served as complementary food for adults and infants. Porridge can be prepared from various types of cereals such as sorghum, rice and maize. Jasmine white rice is one of the most popular cereals used widely to prepare porridge. However, due to recent higher demand for more nutritious foods and related products, consume of Hang rice, which has higher nutritional values than Jasmine white rice, is an interesting alternative.

Hang rice is achieved from harvesting grain in immature but fully formed stage (dough stage), streaming, drying and polishing. During streaming, starch molecules are heated. This causes starch molecules absorb more water, swell and gelatinize. After that, rice is dried and

induces pre-gelatinized starch. Hang rice has been processing by cooking with Jasmine white rice or brown rice.

Hang rice manufacturing process is different from that of Jasmine white rice as mentioned. It is most probable that physical property and sensory acceptability of the obtained porridge would be different from that of porridge from Jasmine white rice.

Various types of cereals represent different characteristics such as flow behavior, color and sensory acceptability to porridge [1-5]. Moreover, sizes, solid to water ratios and processing conditions affect the quality of the porridge [2,4].

The purpose of this research was to study the effects of preparation methods, which were Hang rice sizes and Hang rice to water ratios on viscosity, color and sensory acceptability of Hang rice porridge.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Preparation of Hang rice

Hang rice was purchased from Ban-Nar-Bor Village, Varichapoom, Sakon Nakhon Province, Thailand. Hang rice was controlled moisture content of 8-10% wet basis. Hang rice was milled to 0.5 and 2.0 mm sizes using Hammer mill (PX-MFC90D, Switzerland) (Applied from [6]). Milled rice was then sieved to ensure that the size of rice was 0.5 and 2 mm. Milled rice was kept at Laminated Low Density Polyethylene (LLDPE) bag, vacuum packed and kept at 4°C until use (not more than 3 months).

2.2 Sample preparation

Porridge was prepared from Hang rice with varying sizes of Hang rice (0.5 and 2.0 mm) and Hang rice to water (1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 and 1:14). The porridges were prepared according to Helland et. al. [7]. Hang rice was weighted and mixed with distilled water at different ratios in stainless steel pot. Weight of rice and water in each pot was about 300 g. A batter was made prior to heating in a boiling water ($100 \pm 1^\circ\text{C}$) bath for 90 min. During cooking, the samples were first stirred after 3 and 10 min, followed by further stirring every 10 min. After cooking for 90 min, the porridge was cooling to 40°C in a water bath (30 min).

2.3 Viscosity

A Rheometer (Physica MCR51, Austria) was used to measure viscosity. Temperature of porridge was controlled at 40°C, considered to be eating temperature of the porridge. Rate of shear is fixed at 1/100. All samples were performed three measurements.

2.4 Color

Color was measured by using HunterLab (Miniscan SE plus, USA). Color measurements (L^* , a^* and b^*) were taken in triplicate.

2.5 Consumer acceptance test

Panelists were screened for eligibility based on willingness to eat porridge. The experimental design was Balance Incomplete Block (BIB) in CRD with two replicates. Parameters consisted of $t=12$, $b=41$, $k=3$, $r=11$ and $\lambda=2$, respectively. Consumer panelists were male and female, more than 17 years of age, participated in the product evaluation. Each sample treatment (from 2x6 treatment) was tested for thirty times. One panelist was asked to test four samples and evaluate appearance, color, flavor, taste, viscosity and overall acceptability of Hang rice porridge by using 9-point hedonic scales (where 1=dislike extremely and 9=like extremely).

2.6 Statistical analysis

The experimental design was 2x6 Factorial in Randomized Complete block Design. This experiment was replicated three times, except for sensory evaluation. Data were analyzed by using SPSS program analysis of variance including main effects (Hang rice sizes and Hang rice to water ratios) and their interaction was applied. When the analysis showed significant ($P \leq 0.05$) treatment effects, a Duncan Multiple Range test was used for means separations.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Viscosity and color

Hang rice sizes and Hang rice to water ratios had interactive effects on the viscosity and color of the final product (Tables 1-3). The porridge had viscosity, lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) between 0.08 to 14.03 Pa.s, 60.34 to 71.80, -2.03 to 3.47 and 6.59 to 21.76, respectively depending on the sizes and the ratios of Hang rice. Increased water resulted in porridge with increased flow behavior and decreased viscosity of the products [8-10].

Hang rice has been produced from partially polishing and this leads color of Hang rice to yellow-gold. Hence, increased

water resulted in porridge with decreased redness (a^*) and yellowness (b^*) of the porridge ($P \leq 0.05$) (Table 2).

3.2 Consumer acceptance

Hang rice sizes had interactive effect on color, taste and overall acceptance of the porridge ($P \leq 0.05$) (Table 4). Porridge prepared from Hang rice size of 0.5 mm was more homogeneous than that of 2 mm. Moreover, Hang rice to water ratios had interactive effect on consumer acceptance scores of the porridge ($P \leq 0.05$) (Table 5). The acceptability of porridge prepared from Hang rice to water ratios of 1:10, 1:12 and 1:14 were significantly higher than those of other ratios (Table 5). Porridge prepared from Hang rice to water ratios of 1:10, 1:12

and 1:14 had viscosity, lightness, redness and yellowness of 0.73 to 0.29 Pa.s, 64.87 to 61.22, -0.19 to -0.95 and 14.11 to 11.33, respectively. Panels accepted porridge prepared from more water ratios (Hang rice and water ratios of 1:10, 1:12 and 1:14) (Tables 4-6) than those of others. This might be because porridge prepared from Hang rice and water ratios of 1:4, 1:6 and 1:8 looked stick and paste and hence affected consumer acceptance, especially for appearance and viscosity of the product. In addition, using of more water ratios (Hang rice and water ratios of 1:8 to 1:14) led porridge had light color compared to those of less water and then affected appearance and color acceptance of the porridge.

Table 1. Average viscosity and color of Hang rice porridge prepared from different Hang rice sizes

Hang rice size	Viscosity (Pa.s)	L^*	a^*	b^*
0.5 mm	2.97±0.23 ^b	65.07±0.28 ^b	1.75± 0.38 ^a	19.32±0.74 ^a
2 mm	4.20±0.25 ^a	66.20±4.82 ^a	-1.37±0.13 ^b	10.11±0.63 ^b

^{a,b}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Table 2. Average viscosity and color of Hang rice porridge prepared from different Hang rice to water ratios

Hang rice: water	Viscosity (Pa.s)	L^*	a^*	b^*
1:4	12.12±2.55 ^a	69.25±2.82 ^a	1.59± 2.07 ^a	18.84±4.09 ^a
1:6	5.34±0.77 ^b	68.85±1.87 ^a	0.86±2.02 ^b	16.28±4.55 ^b
1:8	2.71±0.97 ^c	67.26±1.60 ^b	0.40±1.94 ^c	15.31±5.07 ^c
1:10	0.73±0.39 ^d	64.87±0.50 ^c	-0.19±1.66 ^d	14.11±5.30 ^d
1:12	0.36±0.27 ^d	62.88±1.26 ^d	-0.56±1.50 ^e	12.86±5.84 ^e
1:14	0.29±0.23 ^d	61.22±0.98 ^e	-0.95±1.23 ^f	11.73±5.71 ^f

^{a,b,c,...,f}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Table 3. Viscosity and color of Hang rice porridge prepared from different Hang rice sizes and Hang rice to water ratios

Hang rice size	Hang rice: water	Viscosity (Pa.s)	L^*	a^*	b^*
0.5 mm	1:4	10.21±2.29 ^b	66.70±0.35 ^{de}	3.47±0.28 ^a	21.76±0.22 ^a
	1:6	4.72±0.42 ^c	67.26±0.30 ^d	2.69±0.30 ^b	20.41±0.42 ^b
	1:8	2.30±0.92 ^{de}	66.00±0.22 ^{ef}	2.14±0.42 ^c	19.88±0.74 ^{bc}
	1:10	0.40±0.11 ^f	65.09±0.26 ^{fg}	1.32±0.22 ^d	18.92±0.60 ^{cd}
	1:12	0.12±0.04 ^f	63.29±0.44 ^h	0.78±0.56 ^e	18.12±1.06 ^d
	1:14	0.08±0.03 ^f	62.10±0.14 ⁱ	0.13±0.52 ^f	16.88±1.41 ^e
2.0mm	1:4	14.03±0.32 ^a	71.80±0.51 ^a	-0.29±0.10 ^g	14.32±0.18 ^f
	1:6	5.95±0.42 ^c	70.43±1.03 ^b	-0.97±0.21 ^h	12.15±0.70 ^g
	1:8	3.11±0.48 ^d	68.52±1.28 ^c	-1.35±0.27 ^{hi}	10.73±0.92 ^h
	1:10	1.05±0.19 ^{ef}	64.65±0.64 ^g	-1.71±0.05 ^{jk}	9.29±0.53 ⁱ
	1:12	0.60±0.04 ^f	61.46±1.13 ⁱ	-1.89±0.07 ^k	7.59±1.01 ⁱ
	1:14	0.49±0.06 ^f	60.34±0.23 ^j	-2.03±0.11 ^k	6.59±0.45 ⁱ

^{a,b,c,...,j}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Table 4. Average consumer acceptance scores of Hang rice porridge prepared from different Hang rice sizes

Hang rice size	Appearance ^{ns}	Color	Flavor ^{ns}	Taste	Viscosity ^{ns}	Overall acceptance
0.5 mm	5.46±1.04	5.79±1.57 ^b	5.91± 1.37	5.79±1.60 ^b	5.20±1.25	5.75±1.60 ^b
2 mm	5.31±1.19	6.18±1.40 ^a	6.15±1.56	6.37±1.57 ^a	5.19±0.84	6.16±1.29 ^a

^{a,b,c}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Acceptability was scored on 9-point hedonic scales where 1= dislike extremely, through 9=like extremely

Table 5. Average consumer acceptance scores of Hang rice porridge prepared from different Hang rice to water ratios

Hang rice: water	Appearance	Color	Flavor	Taste	Viscosity	Overall acceptance
1:4	3.96±1.56 ^b	5.28±1.62 ^c	5.53± 1.84 ^b	4.91±2.04 ^b	3.46±2.20 ^c	4.53±1.65 ^c
1:6	4.26±1.81 ^b	5.57±1.95 ^{bc}	5.61±1.88 ^{bc}	5.51±1.98 ^b	3.96±1.92 ^c	4.85±1.81 ^c
1:8	5.57±1.54 ^a	6.04±1.72 ^{ab}	6.04±1.55 ^{abc}	6.44±1.59 ^a	5.48±2.16 ^b	6.24±1.54 ^b
1:10	6.26±1.23 ^a	6.26±1.43 ^a	6.20±1.37 ^{ab}	6.57±1.37 ^a	6.30±1.45 ^a	6.61±1.23 ^{ab}
1:12	6.17±1.36 ^a	6.31±1.14 ^a	6.46±1.33 ^a	6.46±1.72 ^a	6.35±1.63 ^a	6.91±1.36 ^a
1:14	6.11±1.42 ^a	6.46±1.38 ^a	6.33±1.45 ^a	6.61±1.60 ^a	5.65±2.03 ^{ab}	6.61±1.42 ^{ab}

^{a,b,c}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Acceptability was scored on 9-point hedonic scales where 1= dislike extremely, through 9=like extremely

Table 6. Mean consumer acceptance scores of Hang rice porridge prepared from different Hang rice to water ratios

Hang rice size	Hang rice: water	Appearance	Color	Flavor	Taste	Viscosity	Overall acceptance
0.5	1:4	3.44±2.21 ^f	4.89±1.91 ^b	5.30±2.02 ^{bc}	4.30±2.16 ^d	3.48±2.34 ^d	3.96±1.79 ^f
	1:6	3.93±2.04 ^{ef}	5.00±1.94 ^b	5.00±1.57 ^c	4.96±1.87 ^{cd}	3.81±1.84 ^d	4.44±2.01 ^{ef}
	1:8	6.22±1.37 ^{ab}	6.19±1.62 ^a	6.30±1.56 ^a	6.48±1.40 ^{ab}	5.85±1.94 ^{ab}	6.56±1.60 ^{abc}
	1:10	6.22±1.69 ^{ab}	5.96±1.65 ^a	6.04±1.37 ^{ab}	6.22±1.53 ^{ab}	6.15±1.54 ^{ab}	6.22±1.37 ^{bc}
	1:12	6.30±1.75 ^{ab}	6.22±1.58 ^a	6.37±1.33 ^a	6.15±1.88 ^{ab}	6.22±1.85 ^{ab}	6.52±1.50 ^{abc}
	1:14	6.67±1.41 ^a	6.52±1.53 ^a	6.48±1.42 ^a	6.67±1.84 ^a	5.74±2.23 ^{ab}	6.85±1.38 ^{ab}
2.0	1:4	4.48±1.78 ^{de}	5.67±1.18 ^{ab}	5.93±1.62 ^{ab}	5.52±1.74 ^{bc}	3.44±2.08 ^d	5.11±1.28 ^{de}
	1:6	4.59±1.78 ^{de}	6.15±1.81 ^a	6.07±2.04 ^{ab}	6.07±1.96 ^{ab}	4.11±2.03 ^{cd}	5.26±1.51 ^{de}
	1:8	4.93±2.07 ^{cd}	5.89±1.83 ^a	5.78±1.53 ^{abc}	6.41±1.78 ^{ab}	5.11±2.34 ^{bc}	5.93±1.44 ^{cd}
	1:10	6.30±0.99 ^{ab}	6.56±1.12 ^a	6.37±1.36 ^a	6.93±1.11 ^a	6.44±1.37 ^a	7.00±0.96 ^{ab}
	1:12	6.04±1.74 ^{ab}	6.41±1.25 ^a	6.56±1.34 ^a	6.78±1.53 ^a	6.48±1.40 ^a	7.30±1.10 ^a
	1:14	5.56±1.80 ^{bc}	6.41±1.25 ^a	6.19±1.49 ^{ab}	6.56±1.34 ^a	5.56±1.85 ^{ab}	6.37±1.45 ^{bc}

^{a,b,c,...,f}, Means with different letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

Acceptability was scored on 9-point hedonic scales where 1= dislike extremely, through 9=like extremely

4. CONCLUSIONS

Hang rice sizes and Hang rice to water ratios had interactive effects on the viscosity, color and sensory score of the final product. Increased water resulted in porridge with decreased viscosity, lightness, redness and yellowness of the porridge. Hang rice sizes had interactive effect on color, taste and overall acceptance of the porridge. In addition, porridge prepared from ratio of parboiled rice to water of 1:10, 1:12 and 1:14 were found to have high sensory score in over all acceptances compared to other ratios. Results could be used to optimize the production of instant Hang rice porridge.

ACKNOWLEDGEMENTS

Financial supports for this study by Thailand Research Fund (TRF) and Kasetsart University are gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] Lee J.W., Kim J.H., Oh S.H., Byun E.H., Yook H.S., Kim M.R., Kim, K.S. and Byun M.W., Effect of gamma irradiation on viscosity reduction of cereal porridges for improving energy density. *Radiat. Phys. Chem.*, 2008; **77(3)**: 352-356.
- [2] Ojijo N.K.O. and Shimoni E., Rheological properties of fermented finger millet (*Elusine coracana*) thin porridge. *Carb. Polymer*. 2004; **56(2)**: 235-242.
- [3] Aboubacar A., Kirleis A.W. and Oumarou M., Important sensory attributes affecting consumer acceptance of sorghum porridge in West Africa as related to quality tests. *J. Cereal Sci.* 1999; **30(3)**: 217-225.
- [4] Manohar R.S., Manohar B. and Rao P.H., Rheological characterization of wheat porridge (cooked dalia), a semi-liquid breakfast food. *J. Cereal Sci.* 1998; **27(1)**: 103-108.
- [5] Bhattacharya S. and Bhattacharya S., Rheology of cooked debranned maize flour suspensions. *J. Food Eng.* 1996; **27(1)**: 97-105.
- [6] Fombang E.N., Taylor J.R.N., Mbofung C.M.F. and Minnaar A., Use of γ -irradiation to alleviate the poor protein digestibility of sorghum porridge. *Food Chem.* 2005; **79(9)**: 982-989.
- [7] Helland M.H., Wicklund T. and Narvhus J.A., Effect of germination time on alpha-amylase production and viscosity of maize porridge. *Food Res. Int.*, 2002; **35(2-3)**: 315-321.
- [8] Chen H.H., Kang H.Y. and Chen S.D., The effects of ingredients and water content on the rheological properties of batters and physical properties of crusts in fried foods. *J. Food Eng.*, 2008; **88(1)**: 45-54.
- [9] Li J.Y. and Yeh A.I., Effects of starch properties on rheological characteristics of starch/meat complexes. *J. Food Eng.*, 2003; **57(3)**: 287-294.
- [10] Kerdpiroon S., Polwilai C. and Natisri S., Study on factors affected porridge mixed with pumpkin processing. *King Mongkut's Agro-Ind. J.*, 2011; **3(1)**: 1-10.