



การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีไมโครเวฟ

The Comparative Study of Parboiled Rice Production between Traditional Method and Microwave Method

ชนิดา บุพตา¹, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์^{1*}, ภัทรพร สัญชาติเจตน²

Chanida Bupata¹, Siwalak Pathaveerat^{1*}, Pattaraporn Sanchatjate²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, ชลบุรี, 20110

²Department of Agricultural Engineering, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chon-buri, 20110

*Corresponding author: Tel: +66-86-147-2656, Fax: +66-34-351-896, E-mail: fengslp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวหนึ่งให้มีคุณภาพเป็นสิ่งสำคัญต่อการบริโภคและการส่งออก งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีดั้งเดิมกับวิธีการใช้ไมโครเวฟ ในแบบดั้งเดิมข้าวเปลือกจะถูกแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 70°C และ 80°C เป็นเวลา 60 120 และ 180 min จากนั้นนำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 5 10 และ 15 min ผลการทดสอบพบว่า การแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 180 min และนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 10 min เป็นสภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้มีปริมาณต้นข้าวเท่ากับ 65.47% ค่าความขาว 27.81 และไม่พบข้าวท้องไข ส่วนการแช่ข้าวด้วยวิธีไมโครเวฟจะใช้กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟตั้งแต่ 400 440 และ 480 W เป็นระยะเวลา 80 105 และ 130 min จากนั้นนำมานึ่งด้วยสภาวะเดียวกันกับแบบดั้งเดิมพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับแช่ข้าวเปลือกพร้อมให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟอยู่ที่ 440 W ใช้เวลา 105 min และเวลาในการนึ่งข้าว 5 min ได้ปริมาณต้นข้าว 64.02% ค่าความขาว 31.65 และมีปริมาณข้าวท้องไข 1.33% นอกจากนี้ทำการเปรียบเทียบปริมาณต้นข้าว ปริมาณข้าวท้องไข ค่าสี และค่าความขาวจากการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี พบว่าไม่มีแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามวิธีไมโครเวฟจะช่วยทำให้ระยะเวลาในการผลิตข้าวหนึ่งน้อยลง

คำสำคัญ: ข้าวหนึ่ง, การแช่, ไมโครเวฟ

Abstract

A high quality of parboiled rice is an important product of Thailand to consume and export. This research was to evaluate and compare the parboiling processes of Thai jasmine rice variety Khao Dok Mali 105 between the use of traditional and microwave methods. In the traditional method, the paddy was soaked in the water temperature of 70 and 80°C with the holding time of 60, 120 and 180 min and steamed at the temperature of 100 °C for 5, 10 and 15 min. The results showed that the soaking with 80 °C for 180 min and steamed at the temperature of 100 °C for 10 min caused the head rice yield of 65.47% with the whiteness of 31.65 without chalky grain, respectively. For soaking using the microwave method, the microwave power was ranging from 400, 440 and 480 W for the duration of 80, 105 and 130 min. After that, the paddy was steamed under the same condition as the traditional method. The results indicated that the microwave power of 440 W with the holding period of 105 min for the soaking process and the steaming time of 5 min were favorable conditions. The parboiled rice had the head rice yield of 64.02 % with the whiteness of 31.65 and the 1.33 % of chalky kernels. Moreover, the characteristics of the head rice yield, chalky grain, color values and whiteness from the two methods showed no statistically significant ($P < 0.05$). However, the microwave process could reduce the parboiling time.

Received: November 13, 2019

Revised: November 27, 2019

Accepted: November 27, 2019

Available online: August 21, 2020

1 บทนำ

ข้าวเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย โดยเฉพาะข้าวหนึ่งมีปริมาณการส่งออก 2.70 ล้านตัน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 25 ของปริมาณการส่งออกข้าวทั้งหมด (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม, 2562) นำรายได้เข้าสู่ประเทศมากกว่าพันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2562) ปัจจุบันหลายประเทศได้พัฒนาผลผลิตข้าวมากขึ้น ทำให้มีข้าวไทยมีภาวะการแข่งขันสูงขึ้น ซึ่งการแข่งขันดังกล่าวทำให้ประเทศไทยต้องปรับปรุงและพัฒนาทั้งคุณภาพและกระบวนการผลิต รวมถึงการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าว (สมพร, 2561)

การผลิตข้าวหนึ่งเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพข้าวเปลือก โดยเฉพาะข้าวที่มีคุณภาพการขัดสีต่ำ เพื่อลดปริมาณข้าวหักระหว่างการสี เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการขณะแช่ข้าวเปลือกในน้ำ เพื่อให้ธาตุอาหารและน้ำซึมเข้าสู่เมล็ด ก่อนจะนำมาหนึ่ง จากนั้นจึงทำข้าวเปลือกหนึ่งให้แห้ง แล้วนำไปผ่านกระบวนการขัดสี (น้ำฝนและอรอนงค์, 2546) ทั้งนี้การหนึ่งจะทำให้ข้าวที่ได้มีสีเหลืองสวยขึ้น (น้ำฝนและคณะ, 2560) สำหรับการผลิตข้าวหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบันยังเป็นวิธีที่มีหลายขั้นตอน และใช้เวลานานในการแช่ข้าวเปลือก เนื่องจากต้องเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้ได้ตามต้องการก่อนนำข้าวเปลือกแช่ อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหนึ่งโดยปรับสภาวะต่างๆ เช่น การปรับปรุงกระบวนการแช่ด้วยการพ่นไอน้ำ (พิมพ์พรรณ และคณะ, 2560) การหนึ่งโดยใช้น้ำร้อนและตากแห้งด้วยลมร้อน (คมสัน, 2509) รวมถึงการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไอเซนที่ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (สมคิด, 2549) พบว่ายังใช้เวลาในการทำให้ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นหลังการแช่สูงขึ้นค่อนข้างนาน รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวสารหนึ่งยังไม่ดีเท่าที่ควร

Kaasova et al. (2001) ศึกษาถึงผลของการใช้ไมโครเวฟในการทำให้ข้าวหนึ่ง พบว่ากระบวนการเกิดเจลลาตินในซ์ของแป้งข้าวจะเกิดได้เร็วกว่าวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม และยังช่วยย่นระยะเวลาในการทำให้ข้าวหนึ่งลดลงด้วย Sivashanmugam and Arivazhagan (2008) เนื่องจากวิธีไมโครเวฟอาศัยลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของน้ำในเมล็ดข้าวที่มีสองขั้ว ซึ่งหมุนเปลี่ยนตามสนามไฟฟ้าทำให้เกิดการเสียดสีกับตัวกลางที่อยู่รอบๆ และเกิดความร้อนขึ้นภายในเมล็ดข้าว อย่างไรก็ตามการใช้วิธีไมโครเวฟกับข้าวพันธุ์ไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลาย จึงจำเป็นต้องศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ทั้งเวลา และอุณหภูมิในการแช่ รวมทั้งเวลาในการหนึ่ง เพื่อให้ได้ข้าวหนึ่งที่มัลักษณะที่ดี (พิสุทธ์, 2560) รวมทั้งเป็นการลดกระบวนการในการผลิตข้าวหนึ่งอีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของข้าวหนึ่งที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีไมโครเวฟ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมข้าวเปลือก

ในการทดลองนี้ใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยทำความสะอาดข้าวเปลือกที่จะทำการทดลองด้วยเครื่องคัดแยก เพื่อแยกสิ่งเจือปนและเมล็ดลีบออก จากนั้นนำข้าวที่ทำความสะอาดแล้วไปทำเป็นข้าวหนึ่ง โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ดังนี้

2.1.1 กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งด้วยวิธีดั้งเดิม

นำข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 70°C และ 80°C เป็นเวลา 60 120 และ 180 min ตามลำดับ สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่ 0 60 120 และ 180 min นำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) เพื่อศึกษาการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวเปลือก เมื่อแช่ข้าวเปลือกครบตามเวลาที่กำหนด นำข้าวเปลือกไปหนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 10 และ 15 min จากนั้นนำไปตากในที่ร่มจนกระทั่งข้าวเปลือกมีความชื้นไม่เกิน 14% (d.b.) เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกหนึ่งไว้ในถุงซิปล็อคเป็นเวลา 7 วัน ก่อนทำการขัดสีและตรวจสอบคุณภาพข้าวหนึ่ง

2.1.2 กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งด้วยวิธีไมโครเวฟ

นำข้าวเปลือกแช่น้ำแล้วให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โดยใช้กำลังไฟฟ้าและจำนวนรอบดังนี้ กำลังไฟฟ้า 400 W จำนวน 6 รอบ กำลังไฟฟ้า 440 W จำนวน 6 รอบ กำลังไฟฟ้า 440 W จำนวน 5 รอบ กำลังไฟฟ้า 480 W จำนวน 5 รอบ และกำลังไฟฟ้า 480 W จำนวน 4 รอบ (Table 1) โดยให้ความร้อนรอบละ 5 min และหลังจากการให้ความร้อนแต่ละรอบจะพักข้าวเป็นเวลา 20 min จากนั้นนำมาหนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 min ตากข้าวในที่ร่มจนกระทั่งข้าวเปลือกมีความชื้นไม่เกิน 14% (d.b.) เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกหนึ่งไว้ในถุงซิปล็อคเป็นเวลา 7 วัน ก่อนทำการขัดสีและตรวจสอบคุณภาพข้าวหนึ่ง

Table 1 Soaking and steaming conditions for parboiling.

Sample code	Soaking condition		Steaming condition	
	Power output (W)	Heating cycle	T (°C)	t (min)
MW1	400	6	100	5
MW2	440	6	100	5
MW3	440	5	100	5
MW4	480	5	100	5
MW5	480	4	100	5

Note: MW means parboiled rice process by microwave method.

2.2 วิธีการตรวจสอบคุณภาพของข้าวหนึ่ง

2.2.1 ความชื้นข้าวเปลือกหลังผ่านกระบวนการแช่

สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกทั้งก่อนและหลังการทดลองมาหาความชื้น นำข้าวเปลือกอบในถ้วยแก้วตัวอย่าง ประมาณ 2-3 g นำเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 135°C เป็นเวลา 120 min จึงนำออกมาใส่โถแก้วดูความชื้น เป็นเวลา 30 min (Bhattacharya, 2011) จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล นำข้อมูลไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห่ง (AOAC, 2000) ดังสมการ (1)

$$\text{Moisture content(\%)} = \frac{\text{Wet Weight} - \text{Dry Weight}}{\text{Dry Weight}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2 ปริมาณต้นข้าว

ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกหนึ่ง 250 g นำเข้าเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกยี่ห้อ Satake รุ่น THU.35A จนเปลือกหลุดออกหมด ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องที่ได้ จากนั้นนำข้าวกล้องไปขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาวยี่ห้อ Satake รุ่น TM.05 เป็นเวลา 1.30 min ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักข้าวหนึ่งที่ได้ นำข้าวหนึ่งที่ได้ทั้งหมดไปแยกข้าวหักออกจากข้าวเต็มเมล็ด ด้วยเครื่องคัดแยกขนาดยี่ห้อ Satake รุ่น TRG.05A ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก ข้าวสาร และข้าวเต็มเมล็ดที่นำข้อมูลไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด ดังสมการ (2) (อรอนงค์, 2556)

$$\text{Head rice yield} = \frac{\text{MassHead rice}}{\text{MassRough rice}} \times 100 \quad (2)$$

2.2.3 ปริมาณข้าวท้องไข่

นำข้าวสารหนึ่งที่มีลักษณะเป็นข้าวเต็มเมล็ดมา 100 เมล็ด ใช้แสงไฟส่องเมล็ดข้าวเพื่อแยกข้าวที่มีจุดขาวขุ่นในเมล็ดออก โดยเลือกเฉพาะเมล็ดที่มีจุดขุ่นที่บ่งแสงเกิน 50% ขึ้นไป บันทึกผล นำข้อมูลไปคำนวณหาปริมาณข้าวท้องไข่

2.2.4 ความขาวข้าวสาร

นำข้าวเต็มเมล็ดใส่ในกล่องตัวอย่าง แล้วใส่ในเครื่องเพื่อวัดความขาว ด้วยเครื่องวัดการขัดสี Milling meter ยี่ห้อ Satake รุ่น MM1C เครื่องจะแสดงผลการวัด 3 ค่า คือ ค่าความขาว (Whiteness) ความใส (Transparency) และค่าการขัด (Milling degree)

2.2.5 ค่าสี L* a* และ b*

นำตัวอย่างข้าวใส่ลงใน Petri dish ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm จนเต็ม แล้วทำการตรวจวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CR-10 โดยวัดค่าในหน่วย L* a* และ b*

2.2.6 ระยะเวลาในการหุงต้ม

ตัดแปลงจากวิธีของ (Juliano, 1985; ใจทิพย์ และคณะ, 2556) โดยสุ่มตัวอย่างข้าวเต็มเมล็ด 100 เมล็ด ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 min สุ่มตัวอย่างข้าวขึ้นมา 10 เมล็ด โดยนำข้าวขึ้นจากน้ำเดือดแล้วจุ่มลงในน้ำเย็นทันที นำข้าวที่ผ่านการต้มวางบน

แผ่นกระดาษ เพื่อหาลักษณะเป็นจุดขาวกลางเมล็ดข้าว หลังจากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวทุก ๆ 2 min จนกว่าข้าวจะสุก หรือข้าวมีลักษณะเป็นจุดขาวกลางเมล็ดน้อยกว่า 10 เมล็ด ที่เวลานั้นเรียกว่า Minimum cooking time ส่วนเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม Optimum cooking time จะต้องเพิ่มอีก 2 min

2.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้ซอฟต์แวร์ SPSS version 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)

3 ผลและวิจารณ์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ และสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่ง ของกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งสำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยเปรียบเทียบวิธีดั้งเดิมและวิธีไมโครเวฟ เพื่อทดสอบปริมาณต้นข้าว ปริมาณข้าวท้องไข่ ทดสอบความขาว และวัดค่าสีของเมล็ดข้าวสาร รวมทั้งเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหุงต้ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งด้วยวิธีดั้งเดิม

3.1.1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ต่อปริมาณความชื้นข้าวเปลือกก่อนนึ่ง

ผลของการแช่ข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 70°C และ 80°C เป็นเวลา 60 120 และ 180 min พบว่าเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยการแช่ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 180 min พบว่ามีค่าความชื้นสูงสุด 37.00% (d.b.) (Table 2) จากการสังเกตเมื่อใช้ระยะเวลาแช่นานขึ้นจะทำให้เปลือกนอกปริแตกออกจากกัน ส่งผลให้ข้าวหนึ่งที่ได้มีสีเข้มกว่าข้าวปกติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ (สมคิด, 2549)

Table 2 Paddy rice soaked's moisture content before steaming.

Soaking Temperature (°C)	Soaking time (min)	Moisture content % (d.b.)
70	60	25.29 ^f ±0.85
	120	27.30 ^e ±1.27
	180	30.69 ^c ±1.67
80	60	29.27 ^d ±0.71
	120	34.51 ^b ±1.43
	180	37.00 ^a ±1.93

Note: The letters with different superscript letters in a column are significantly different (P<0.05)

Table 3 Effect of parboiling rice at soaking temperature 70°C on parboiled rice's quality.

Soaking time (min)	Streaming time (min)	Head rice yield (%)	White belly (%)	Whiteness	Color value		
					L*	a*	b*
60	5	52.19 ^b ±	75.00 ^b ±	40.40 ^a ±	74.49 ^a ±	-0.27 ^c ±	16.65 ^c ±
		4.50	1.67	0.50	1.03	0.24	0.49
	10	48.37 ^{bc} ±	83.11 ^a ±	40.31 ^a ±	73.02 ^a ±	-0.16 ^c ±	17.65 ^{bc} ±
		2.02	3.42	0.63	2.38	0.42	1.37
	15	47.26 ^c ±	77.22 ^b ±	38.94 ^a ±	73.50 ^a ±	0.25 ^{abc} ±	19.04 ^{ab} ±
		4.42	2.71	0.37	0.42	0.21	0.75
120	5	64.03 ^a ±	21.56 ^c ±	32.87 ^b ±	65.97 ^{bc} ±	0.01 ^{bc} ±	17.66 ^{bc} ±
		0.27	1.90	1.04	0.92	0.05	0.36
	10	65.75 ^a ±	20.00 ^c ±	32.60 ^b ±	67.53 ^b ±	0.01 ^{bc} ±	18.18 ^b ±
		3.34	1.76	2.23	1.68	0.36	0.79
	15	67.34 ^a ±	8.11 ^d ±	29.92 ^c ±	65.57 ^{bc} ±	0.20 ^{abc} ±	19.00 ^{ab} ±
		0.53	1.26	0.14	2.37	0.15	0.54
180	5	67.22 ^a ±	4.78 ^e ±	29.74 ^c ±	64.99 ^{bc} ±	0.01 ^{bc} ±	18.34 ^{ab} ±
		0.36	0.69	0.36	2.44	0.28	0.10
	10	67.30 ^a ±	3.00 ^e ±	28.71 ^c ±	65.62 ^{bc} ±	0.49 ^{ab} ±	19.04 ^{ab} ±
		0.63	1.33	0.58	1.06	0.26	0.89
	15	65.90 ^a ±	1.56 ^e ±	28.37 ^c ±	63.14 ^c ±	0.60 ^a ±	19.68 ^a ±
		1.04	0.77	1.18	0.19	0.29	0.93

Note: the values with different superscript letters in a column are significantly different (P<0.05)

Table 4 Effect of parboiling rice at soaking temperature 80°C on parboiled rice's quality.

Soaking time (min)	Steaming time (min)	Head rice yield (%)	White belly (%)	Whiteness	Color value		
					L*	a*	b*
60	5	63.57 ^b ± 1.12	59.00 ^a ± 4.18	36.47 ^a ± 0.64	70.48 ^a ± 1.84	0.32 ^b ± 0.21	16.51 ^e ± 0.80
		67.22 ^a ± 0.81	16.56 ^b ± 1.94	30.38 ^b ± 0.84	66.36 ^b ± 2.56	0.78 ^{ab} ± 0.38	19.82 ^{abc} ± 1.53
	10	66.09 ^a ± 0.80	8.22 ^c ± 2.82	29.90 ^{bc} ± 0.54	64.84 ^b ± 3.01	0.38 ^{ab} ± 0.32	18.61 ^{cd} ± 0.56
		66.16 ^a ± 0.50	0.11 ^d ± 0.33	29.22 ^{cd} ± 0.48	64.12 ^b ± 3.09	0.52 ^{ab} ± 0.34	18.19 ^d ± 0.89
	15	65.90 ^a ± 0.42	0.22 ^d ± 0.44	28.51 ^{de} ± 0.49	64.79 ^b ± 3.59	0.56 ^{ab} ± 0.49	19.17 ^{bcd} ± 1.36
		63.73 ^b ± 0.37	0.00 ^d ± 0.00	28.27 ^{de} ± 0.45	63.64 ^b ± 9.57	0.68 ^{ab} ± 0.29	19.79 ^{abc} ± 1.01
120	5	60.89 ^c ± 1.10	0.22 ^d ± 0.44	28.77 ^{de} ± 0.54	64.98 ^b ± 2.86	0.78 ^{ab} ± 0.51	20.38 ^{ab} ± 1.04
		65.47 ^a ± 0.27	0.00 ^d ± 0.00	27.81 ^e ± 0.56	64.48 ^b ± 1.55	0.63 ^{ab} ± 0.48	19.83 ^{abc} ± 1.03
	10	61.72 ^c ± 1.98	0.11 ^d ± 0.00	25.43 ^f ± 0.28	64.64 ^b ± 2.33	0.87 ^a ± 0.52	20.99 ^a ± 1.03
		67.34 ^a ± 0.81	0.00 ^d ± 0.00	28.27 ^{de} ± 0.45	63.64 ^b ± 9.57	0.68 ^{ab} ± 0.29	19.79 ^{abc} ± 1.01
	15	66.16 ^a ± 0.50	0.11 ^d ± 0.33	29.22 ^{cd} ± 0.48	64.12 ^b ± 3.09	0.52 ^{ab} ± 0.34	18.19 ^d ± 0.89
		65.90 ^a ± 0.42	0.22 ^d ± 0.44	28.51 ^{de} ± 0.49	64.79 ^b ± 3.59	0.56 ^{ab} ± 0.49	19.17 ^{bcd} ± 1.36

Note: the values with different superscript letters in a column are significantly different ($P < 0.05$)

3.1.2 ผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่ และระยะเวลาในการนึ่งต่อสมบัติทางกายภาพของข้าวเหนียว

การนำข้าวที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ มาหนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 10 และ 15 min และตรวจสอบคุณภาพหลังจากการขัดสี พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ รวมทั้งระยะเวลาในการนึ่งมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพของข้าวเหนียว โดยในข้าวที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70°C (Table 3) พบว่าปริมาณต้นข้าวของข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่เป็นระยะเวลา 120 min นึ่งเป็นเวลา 15 min และแช่เป็นระยะเวลา 180 min นึ่งเป็นเวลา 10 min มีค่าสูงสุดเท่ากับ 67.34% และ 67.30% ส่วนข้าวที่ผ่านการแช่เป็นระยะเวลา 60 min นึ่งเป็นเวลา 15 min มีปริมาณต้นข้าวเหนียวที่ต่ำสุดเท่ากับ 47.26%

จากการใช้แสงไฟส่องเมล็ดข้าวเพื่อแยกข้าวที่มีจุดขาวขุ่นในเมล็ดออก พบว่าปริมาณข้าวท้องไข่ของข้าวที่แช่เป็นระยะเวลา 180 min นึ่งเป็นเวลา 15 min มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.56% ส่วนการแช่เป็นระยะเวลา 60 min นึ่งเป็นเวลา 5 min มีปริมาณข้าวท้องไข่มากที่สุดเท่ากับ 75.00% จากการสังเกตพบว่าเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณข้าวท้องไข่ลดลงเนื่องจากในชั่วโมงแรกของการแช่ข้าวเปลือก การดูดซึมน้ำยังไม่เพียงพอต่อการทำให้แป้งภายในเมล็ดข้าวอัมต้ว จึงยังพบว่ามีปริมาณข้าวท้องไข่อยู่มาก แต่เมื่อการแช่เข้าสู่เวลาที่ 120

พบว่าปริมาณข้าวท้องไข่ลดลงอย่างชัดเจน เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการแช่ข้าวในเวลาที่ 60 มีความแตกต่างกันทางสถิติกับเวลาที่ 120 และ 180 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สำหรับค่าความขาวและค่าสีของข้าวเหนียว พบว่าเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้น ค่าความขาว และค่า L* ของข้าวเหนียวจะลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Taghinezhad et al. (2015) ที่พบว่าเมื่อเวลาในการแช่มากขึ้นข้าวจะมีลักษณะเป็นเมล็ดใส และมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยที่การแช่เป็นระยะเวลา 60 min นึ่งเป็นเวลา 5 min ทำให้ข้าวเหนียวมีค่าความขาว และค่า L* มากที่สุดเท่ากับ 40.40 และ 74.49 ส่วนการแช่เป็นระยะเวลา 180 min นึ่งเป็นเวลา 15 min มีค่าความขาว และค่า L* น้อยที่สุดเท่ากับ 28.37 และ 63.14 สำหรับค่า a* และค่า b* จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่มากขึ้น โดยที่การแช่เป็นระยะเวลา 180 min นึ่งเป็นเวลา 15 min ทำให้ข้าวเหนียวมีค่า a* และค่า b* มากที่สุดเท่ากับ 0.60 และ 19.68 ส่วนการแช่เป็นระยะเวลา 60 min นึ่งเป็นเวลา 5 min ทำให้ข้าวเหนียวมีค่า a* และค่า b* น้อยที่สุดเท่ากับ -0.27 และ 16.65 ตามลำดับ

การแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 80°C (Table 4) พบว่าปริมาณต้นข้าวของข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่เป็นระยะเวลา 60 min นึ่งเป็นเวลา 10 min มีค่าสูงสุดเท่ากับ 67.22% และข้าวที่ผ่านการแช่เป็นระยะเวลา 180 min นึ่งเป็นเวลา 5 min มีปริมาณต้นข้าวเหนียวที่ต่ำสุดเท่ากับ 60.89%

ปริมาณข้าวท้องไข่ของข้าวที่แช่เป็นระยะเวลา 120 min นึ่งเป็นเวลา 15 min และ 180 min นึ่งเป็นเวลา 10 min มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.00% ส่วนการแช่เป็นระยะเวลา 60 min นึ่งเป็นเวลา 5 min มีปริมาณข้าวท้องไข่มากที่สุดเท่ากับ 59.00% จากการสังเกตพบว่าปริมาณข้าวท้องไข่ลดลงเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70°C

ค่าความขาวและค่าสีของข้าวนี้ พบว่าการแช่ข้าวเป็นระยะเวลา 60 min นึ่งเป็นเวลา 5 min ทำให้ข้าวนี้มีค่าความขาว และค่า L* มากที่สุดเท่ากับ 36.47 และ 70.48 ส่วนการแช่เป็นระยะเวลา 180 min นึ่งเป็นเวลา 15 min มีค่าความขาวน้อยที่สุดเท่ากับ 25.43 และมีค่า L* 63.64 น้อยที่สุดในการแช่ข้าวเป็นระยะเวลา 120 min นึ่งเป็นเวลา 15 min สำหรับค่า a* และค่า b* จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่มากขึ้น โดยที่การแช่เป็นระยะเวลา 180 min นึ่งเป็นเวลา 15 min ทำให้ข้าว

นี้มีค่า a* และค่า b* มากที่สุดเท่ากับ 0.87 และ 20.99 ส่วนการแช่เป็นระยะเวลา 60 min นึ่งเป็นเวลา 5 min ทำให้ข้าวนี้มีค่า a* และค่า b* น้อยที่สุดเท่ากับ 0.32 และ 16.51 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิแช่ที่ 70°C และ 80°C พบว่าการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 70°C ใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือก 180 min และนึ่งเป็นเวลา 10 min เป็นสถานะที่มีค่าปริมาณต้นข้าวและมีปริมาณข้าวท้องไข่มากเท่ากับ 67.30 และ 3.00 และการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 80°C เป็นระยะเวลา 180 min และนึ่งเป็นเวลา 10 min เป็นสถานะที่ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณต้นข้าวและมีปริมาณข้าวท้องไข่มากเท่ากับ 65.47 และไม่มีพบข้าวท้องไข่

สำหรับการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้มข้าวนี้ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80°C (Table 5) พบว่าข้าวนี้ที่มีระยะเวลาการแช่ 120 min และนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 10 min มีระยะเวลาในการหุงต้มที่น้อยที่สุดเท่ากับ 19.33 min

Table 5 Cooking time of parboiled rice obtained from soaked at 80°C.

Soaking conditions		Cooking Time		
Temperature (°C)	Time (min)	5 min	10 min	15 min
80	60	19.56 ^c ± 0.88	20.67 ^{abc} ± 1.00	21.78 ^a ± 1.20
	120	20.44 ^{abc} ± 1.67	19.33 ^c ± 1.41	20.22 ^{bc} ± 1.86
	180	20.44 ^{abc} ± 1.33	21.11 ^{bc} ± 1.05	20.00 ^{bc} ± 1.00

Note: The letters with different superscript letters in a column are significantly different (P<0.05).

3.2 กระบวนการผลิตข้าวนี้ด้วยวิธีไมโครเวฟ

3.2.1 ผลของกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อปริมาณความชื้นข้าวเปลือกก่อนนึ่ง

ความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการแช่ด้วยวิธีไมโครเวฟ พบว่ากำลังไฟฟ้าและระยะเวลาที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นหลังการแช่ข้าวเปลือก อุณหภูมิการแช่จะขึ้นกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้และระยะเวลาการให้ความร้อน จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของการแช่จะอยู่ในช่วง 65-100°C ซึ่งข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่มีความชื้นอยู่ในช่วง 35.06-45.73% (d.b.) ทั้งนี้ นอกจากการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวเปลือกจะช่วยทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้เมล็ดข้าวเกิดการขยายตัวด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Taghinezhad et al. (2015) เนื่องจากอุณหภูมิ น้ำที่สูงทำให้การแพร่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดข้าวได้เร็วขึ้น ทำให้ใช้ระยะเวลาในการแช่น้อยลง และในขณะเดียวกันหากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้เมล็ดข้าวปริแตกได้ จากการทดลองพบว่าที่สภาวะการให้ความร้อน MW4 มีค่าความชื้นสูงสุด 45.73% (d.b.) (Table 6) โดยความชื้นจะมีผลต่อกระบวนการเจลลาคติโนซ์ของข้าว และผลการเกิดข้าวท้องไข่ด้วย

3.2.2 ผลของกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของข้าวนี้

จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณต้นข้าวอยู่ในช่วง 60.89-65.08% (Table 6) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ยกเว้นที่สภาวะการให้ความร้อน MW1 และ MW2 ที่ไม่แตกต่าง เมื่อนำข้าวเปลือกมาปรับปรุงคุณภาพโดยการนำมาทำเป็นข้าวนี้ พบว่ามีปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากข้าวเปลือกที่ได้รับความชื้นอย่างเพียงพอจะเกิดการเจลลาคติโนซ์ของแป้งในเมล็ดข้าวระหว่างการนึ่ง ทำให้รอยแตกกว้างในเมล็ดข้าวถูกผสมผสานส่งผลให้ข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อผ่านการขัดสีจึงส่งผลให้ปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้นด้วย (Swadisewi et al., 2010) โดยสภาวะการให้ความร้อนที่มีปริมาณต้นข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 65.08% คือ MW5 เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดในทางกลับกันพบว่าที่สภาวะ MW5 มีปริมาณข้าวท้องไข่มากที่สุดเท่ากับ 4.50% ซึ่งเป็นผลมาจากระยะเวลาการแช่และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ถึงแม้ที่สภาวะนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าสูง แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่น้อย ทำให้เมล็ดข้าวยังไม่สามารถดูดความชื้นเข้าไปได้เต็มที่ จึงทำให้กระบวนการเกิดเจลลาคติโนซ์ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดข้าวท้องไข่ขึ้น (Table 6)

อิทธิพลของกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อความขาวที่ลดลง จากการทดลองพบว่าความขาวของข้าวนี้ MW2 มีค่าความขาวน้อยที่สุดเท่ากับ 28.35 (Table 7)

ความขาวที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการให้ความร้อนส่งผลให้สีเปลือกข้าวแปรเข้าสู่เมล็ดข้าว เมื่อใช้ระยะเวลาการแช่ที่นานขึ้นจะส่งผลให้ค่าความขาวลดลงไปด้วยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Taghinezhad et al. (2015)

จากการสังเกตข้าวหนึ่งที่ทำให้ความร้อนตามสภาวะต่างๆ เมื่อผ่านการขัดสีแล้วจะมีลักษณะเมล็ดใส มีสีเหลืองอ่อน ยกเว้นสภาวะ MW5 ที่ข้าวหนึ่งมีจุดขาวช่อกกลางเมล็ดเล็กน้อย เมื่อทำการวัดค่าสีพบว่าที่สภาวะ MW5 มีค่า L* มากที่สุด 61.92 MW2

มีค่า L* น้อยที่สุด 60.00 เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทุกสภาวะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ค่า a* ข้าวหนึ่งในทุกสภาวะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.02-0.68 ส่วนสภาวะ MW2 มีค่า b* มากที่สุด เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนานจึงทำให้ข้าวมีค่าความขาวน้อยที่สุด (Table 7)

สำหรับระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม (Table 8) พบว่าข้าวที่หนึ่งด้วยสภาวะ MW4 และ MW5 มีระยะเวลาการหุงต้ม น้อยที่สุดเท่ากับ 19.33 ± 1.03 min

Table 6 The qualities as affected by soaking with microwave heating.

Conditions	Moisture content (%) (d.b.)	Head rice yield (%)	White belly (%)
MW1	40.89 ^c ± 1.56	61.69 ^b ± 1.88	1.25 ^b ± 0.75
MW2	43.42 ^b ± 1.39	62.08 ^b ± 1.89	0.33 ^b ± 0.52
MW3	37.83 ^d ± 2.04	64.02 ^{ab} ± 1.09	1.33 ^b ± 1.03
MW4	45.73 ^a ± 0.92	60.98 ^b ± 1.24	1.50 ^b ± 1.05
MW5	35.06 ^e ± 0.79	65.08 ^a ± 0.36	4.50 ^a ± 1.97
Traditional Method	35.11 ^e ± 0.45	65.47 ^a ± 0.27	0.00 ^e ± 0.00

Note: The letters with different superscript letters in a column are significantly different ($P < 0.05$).

Table 7 The qualities as affected by soaking with microwave heating.

Conditions	Whiteness	Color value		
		L*	a*	b*
MW1	31.43 ^b ± 0.71	61.28 ^a ± 3.23	0.38 ^a ± 0.30	16.43 ^{bc} ± 0.71
MW2	28.35 ^d ± 1.16	60.00 ^a ± 1.06	0.68 ^a ± 0.33	18.45 ^a ± 0.61
MW3	31.65 ^b ± 1.71	60.63 ^a ± 0.38	0.02 ^b ± 0.21	16.12 ^c ± 0.64
MW4	29.48 ^c ± 0.44	60.05 ^a ± 0.62	0.37 ^a ± 0.28	17.07 ^b ± 1.12
MW5	33.28 ^a ± 0.19	61.92 ^a ± 1.42	0.05 ^b ± 0.20	16.38 ^{bc} ± 0.52
Traditional Method	27.81 ^d ± 0.53	64.48 ^a ± 0.51	0.63 ^a ± 0.21	19.83 ^a ± 0.82

Note: The letters with different superscript letters in a column are significantly different ($P < 0.05$).

Table 8 Cooking time of parboiled rice by soaking with microwave heating.

conditions	Cooking time
MW1	22.67 ^a ± 1.73
MW2	21.33 ^{ab} ± 1.03
MW3	20.00 ^{bc} ± 0.00
MW4	19.33 ^c ± 1.03
MW5	19.33 ^c ± 1.03

Note: The letters with different superscript letters in a column are significantly different ($P < 0.05$)

4 สรุป

การผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีการใช้ไมโครเวฟ พบว่าอุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่ และระยะเวลาในการนึ่งมีอิทธิพลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง สภาวะการแช่ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 180 min มีปริมาณความชื้นสุดท้าย หลังจากการแช่ 37.00% (d.b.) และเมื่อนำข้าวเปลือกไปนึ่งเป็นเวลา 10 min ทำให้ได้ปริมาณต้นข้าว 65.47% ไม่มีปริมาณข้าวท้องไข่ ค่าความขาวของข้าวหนึ่ง ค่า L* a* และ b* เท่ากับ 27.81, 64.48, 0.63 และ 19.83 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสม

ที่สุดในการทำข้าวหนึ่งด้วยวิธีดั้งเดิม เนื่องจากมีปริมาณต้นข้าวเยอะที่สุด และปริมาณข้าวท้องไข่น้อย

การผลิตข้าวหนึ่งวิธีไมโครเวฟ พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ MW3 โดยใช้กำลังไฟในการแช่ข้าว 440 W จำนวน 5 รอบ มีปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังจากการแช่ 37.83% (d.b.) จะได้ปริมาณต้นข้าวเท่ากับ 64.02% ปริมาณข้าวท้องไข่น้อย 1.33% ค่าความขาวของข้าวหนึ่ง ค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 31.65, 60.63, 0.02 และ 16.12 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำข้าวหนึ่งวิธีการใช้ไมโครเวฟ เนื่องจากมีปริมาณต้นข้าวเยอะที่สุด และปริมาณข้าวท้องไข่น้อย

การเปรียบเทียบคุณภาพข้าวหนึ่งระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีไมโครเวฟ พบว่าปริมาณต้นข้าว ปริมาณข้าวท้องไข่น้อย ค่าความขาว และค่าสีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่การแช่ข้าวด้วยไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าในกระบวนการผลิต

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สัญญาเลขที่ 5421112 ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอก มก. และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้สถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลองครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

คมสัน โชติมา. 2509. การศึกษาและทดลองวิธีการทำข้าวเปลือกหนึ่งโดยใช้น้ำร้อน และตากแห้งโดยใช้ลมร้อนอุณหภูมิต่ำ. ปรินญาณพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ใจทิพย์ วานิชชัง, ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, นฤมล บุญกระจ่าง, เพียงขวัญ วานิชชัง และพีรดา สุดประเสริฐ. 2556. การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วเพื่อวิสาหกิจชุมชน. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประจำปี 2556. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี. คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ. ศรีราชา, ชลบุรี.

น้ำฝน ลำดับวงศ์, วีระเชษฐ จิตตานิษฐ์, พิณทิพย์ รัมภกาภรณ์. 2560. "ข้าวหนึ่งไทย: จากการค้าสู่การสำรวจความรู้ในกระบวนการผลิต". สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ.

น้ำฝน ศีตะจิตต์ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2546. กระบวนการผลิตข้าวเปลือกหนึ่งระดับห้องปฏิบัติการ. รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 ประจำปี 2546, 36-44. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

พิมพ์พรรณ ปรี่องาม;สมชาติ โสภณธณฤทธิ์;สมเกียรติ ปรัชญาวรากร;สักกมน เทพหัสติน ณ อยู่ธยา. 2560. การปรับปรุงกระบวนการแช่ด้วยการพ่นไอน้ำเพื่อลดระยะเวลาการผลิต

ข้าวหนึ่ง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 27 (4): 655-665

พิสุทธิ์ ไทแก้ว. 2560. การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารจากการแปรรูปด้วยความร้อน (Thermal Processing). แหล่งข้อมูล: <http://km.psu.ac.th/?p=326&lang=th#more-326>. เข้าถึงเมื่อ 7 มกราคม 2561.

สมคิด โฆษิตพันธ์วงศ์. 2549. อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิของการแช่ที่มีผลต่อการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดเซชันที่ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2562. รายงานสถานการณ์ส่งออกข้าว แนวโน้มและทิศทางการส่งออกข้าวไทย ปี 2562. แหล่งข้อมูล: <http://www.thairiceexporters.or.th/Press%20release/2019/TREA%20Press%20Release%20Thai%20Rice%20Situation%20&%20Trend%20Year%202019-30012019.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 10 พฤษภาคม 2562.

สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม. 2562. Factsheet ข้าว ม.ค. 62. แหล่งข้อมูล: https://ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/539561/539561.pdf&title=539561&cate=456&d=0. เข้าถึงเมื่อ 10 พฤษภาคม 2562.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2556. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

AOAC (Association of Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis. (17th ed.). Virginia, USA: The Association of Official Analytical Chemists.

Bhattacharya, K.R. 2011. Rice Quality: A Guide to Rice Properties and Analysis. (1st ed.). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited.

Juliano, B.O. 1985. Polysaccharide, Protein, and Lipids of Rice. In: Juliano, B.O. (Eds.), Rice: Chemistry and Technology. The American Association of Cereal Chemists (pp. 59-160). Minnesota, USA: Inc. St. Paul.

Kaasova, J., Kadlec, P., Bubnik, Z., and Pour, V. 2001. Microwave Treatment of Rice. Czech Journal of Food Science 19(2), 62-66.

Sivashanmugam, P., Arivazhagan, M. 2008. Experimental Studies on Parboiling of Paddy by Ohmic-Heating. International Journal of Food Engineering 4(1).

Swasdisevi, T., Sriariyakula, W., Tia, W., Soponronnarit, S. 2010. Effect of pre-steaming on production of partially-parboiled rice using hot-air fluidization technique. Journal of Food Engineering 96 (3), 455-462.

Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M.H., Minaei, S., Latifi, A.
2015. Effect of soaking temperature and steaming
time on the quality of parboiled Iranian paddy rice.
International Journal of Food Engineering 11 (4), 547-
556.