Agricultural Sci. J. 45 : 3/1 (Suppl.) : 413-416 (2014) ว. วิทย. กษ. 45 : 3/1 (พิเศษ) : 413-416 (2557)

ผลของกระบวนการ Annealing ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Effects of Annealing on Changes of Physical Property and Head Rice Yield of Khao Dok Mali 105

ดลฤดี ใจสุทธิ์[1,*] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[2] และ สมเกียรติ ปรัชญาวรากร[3]
Donludee Jaisut[1,*], Somchart Soponronnarit[2] and Somkiat Prachayawarakorn[3]

Abstract

The drying time of high thermal treatment for paddy Khao Dok Mali 105 was shorter than shade drying. However, the percentage of head rice yield after thermal processing was lower. The objectives of this work were to study the effects of annealing process on change of physical property and head rice yield of Khao Dok Mali 105. The initial moisture content of 33.3% dry-basis of Khao Dok Mali 105 was annealed at the temperature of 65°C for 5 and 12 hours, respectively. The annealed samples then dried to 22.5 ± 1.2% dry basis using fluidized bed at inlet air temperatures of 150°C. After fluidized bed drying, paddy was tempered for 0 and 30 minutes and followed by ambient air aeration until its final moisture content reduced to 16.3 ± 0.5% dry basis. Results showed that annealing process and annealing time affected on change of head rice yield of Khao Dok Mali 105. The increasing of annealing time increases head rice yield. Head rice yield of non-annealed rice was lower than those of the annealed samples. Moreover, the percentage head rice yield of annealed samples was higher than reference sample. This is confirmed by scanning electron microscopy.

Keywords: annealing, drying, Fluidization, Khao Dok Mali 105

บทคัดย่อ

การอบแห้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยเทคนิคการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงแม้จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น แต่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณข้าวเต็มเมล็ดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากลาน ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของสภาวะการ annealing ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยนำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 33.3% มาตรฐานแห้ง มาผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ 65°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ก่อนนำไปอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิอากาศร้อน 150°C จนความชื้นเหลือประมาณ 22.5 ± 1.2% มาตรฐานแห้ง หลังจากนั้นจึงเก็บข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วไว้ในที่อับอากาศเป็นเวลา 0 นาที และ 30 นาที แล้วนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อมต่อจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 16.3 ± 0.5% มาตรฐานแห้ง โดยเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงที่ไม่ผ่านการอบแห้ง พบว่า กระบวนการ annealing และระยะเวลาที่ใช้ในการ annealing ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงข้าวเต็มเมล็ดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดย ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่เพิ่มขึ้น ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ annealing มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดต่ำกว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการ annealing และเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง พบว่า ข้าวที่ผ่านกระบวนการ annealing มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายโครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวตัวอย่าง

คำสำคัญ: การอบแห้ง, กระบวนการ annealing, ขาวดอกมะลิ 105, ฟลูอิไดเซชัน

คำนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศ และเป็นอาหารที่มีผู้บริโภคมากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลก ประเทศไทยนั้นถือได้ว่าเป็นผู้ผลิตข้าวรายใหญ่ และข้าวหอมมะลินับเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ ซึ่งประเทศไทยส่งออกข้าวในรูปข้าวสารเป็นส่วนใหญ่ การปรับปรุงคุณภาพข้าวในปัจจุบันมีหลายวิธีด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การทำข้าวนึ่ง แต่อีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ คือ กระบวนการ annealing ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษา เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการ annealing ไม่มากนัก โดยกระบวนการ annealing เป็นการดัดแปรแป้งทางกายภาพ ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการเก็บข้าวเปลือกในที่อับอากาศ ด้วยความชื้นของการ annealing นั่นคือ ความชื้นต้องมากกว่า 22 % มาตรฐานแห้ง เป็นระยะเวลาหนึ่ง ภายใต้อุณหภูมิที่สูงกว่า glass transition temperature (T_g) แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิ onset gelatinization temperature (T_o) หลังจากผ่านการ annealing แล้วเม็ดแป้งจะเกิดการ

[1] ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900
[1] Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkhen Campus, Bangkok 10900
[2] คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อม และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140
[2] School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140
[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140
[3] Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

เปลี่ยนแปลงภายในระดับของผลึก (crystal) และอสัณฐาน (amorphous) แต่ลักษณะของโครงสร้างผลึกไม่เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ T_g รวมทั้ง T_o เพิ่มสูงขึ้น และทำให้ช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนเซชัน (T_c-T_o) แคบลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งสตาร์ชด้วย โดยทำให้ความหนืดของแป้งที่ปล่อยให้เย็นลงมีค่าสูงขึ้น โดยปริมาณการย่อยด้วยกรดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับประเภทของแป้งสตาร์ชและสภาวะที่ใช้ในการ annealing โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าวจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาวะในการแช่ข้าว และต่างจากคุณสมบัติเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านการแช่ โดยเฉพาะคุณสมบัติการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ T_o (Genkina *et al*., 2004; Juliano *et al*.,1964) ดังนั้น การ annealing จึงอาจช่วยลดปัญหาความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพแป้งได้ เนื่องจากเป็นการลดเกรเดียนท์ความชื้น (Moisture Gradient) ทำให้เกิดการแพร่ความชื้นจากบริเวณใจกลางมายังผิว จนกระทั่งความเข้มข้นของของเหลวเท่ากันทั้งเม็ด ซึ่งคาดว่าจะทำให้ข้าวมีความแข็งแรงขึ้น และเป็นเหตุให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักที่เกิดจากการสีข้าวลดน้อยลง กระบวนการ annealing จึงถือเป็นนวัตกรรมใหม่ในการดัดแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าว โดยใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น ซึ่งเป็นวิธีที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม แต่ทั้งนี้การปรับปรุงคุณภาพข้าวด้วยวิธีการ annealing ยังมีข้อจำกัดอยู่ ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น แหล่งปลูกข้าว การเก็บรักษาเมล็ดข้าว ความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว อุณหภูมิและความชื้นเริ่มต้นก่อนการ annealing รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการ annealing เป็นต้น (Genkina *et al*., 2004)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการ annealing ร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศด้วยเทคนิคการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง โดยควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ระยะเวลาการ annealing และ ระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศระหว่างกระบวนการอบแห้ง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพ และทางเคมีกายภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หลังผ่านกระบวนการดังกล่าว รวมทั้งปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (Head Rice Yield)

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการทดลอง

นำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาเพิ่มความชื้นให้ได้ความชื้นเริ่มต้นใกล้เคียงกับความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว คือประมาณ 33% มาตรฐานแห้ง โดยทำการพรมน้ำลงบนเมล็ดข้าวเปลือก จากนั้นนำไปเก็บไว้ในถังที่ปิดสนิท ในห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 4°C ในช่วงประมาณ 3-4 วันแรก นำข้าวเปลือกออกมาคลุก แล้วนำกลับไปเก็บดังเดิมจนครบ 7 วัน ก่อนการทดลองอบแห้ง ปล่อยให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม โดยเริ่มต้นนำข้าวเปลือกมาผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ 65°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ก่อนนำไปอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิอากาศร้อน 150°C จนความชื้นเหลือประมาณ 22.5 ± 1.2% มาตรฐานแห้ง หลังจากนั้นจึงเก็บข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วไว้ในที่อับอากาศเป็นเวลา 0 นาที และ 30 นาที แล้วนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อมต่อจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 16.3 ± 0.5% มาตรฐานแห้ง โดยใช้ความเร็วอากาศ 2.6 เมตรต่อวินาที และอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80% จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ต่อไป สำหรับการหาความชื้นของข้าวเปลือกจะเก็บตัวอย่างครั้งละประมาณ 50 กรัม ไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกผลของบริษัท YOKOKAWA (รุ่น C8510 ช่วงวัดอุณหภูมิ -100 ถึง 1300°C ความละเอียด ±0.2%) และการวัดความเร็วลมใช้ Hot-wire anemometer มีความละเอียด ±0.1 m/s

การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพประกอบไปด้วย

1. การวิเคราะห์โครงสร้างภายในของเมล็ดแป้งข้าวกล้อง วิเคราะห์โดยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

2. การหาร้อยละต้นข้าว โดยทำความสะอาดข้าวเปลือก ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วให้ได้ 250 กรัม แล้วนำไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก Satake จากนั้นขัดขาวด้วยเครื่อง McGill Miller เป็นเวลา 1 นาที ทิ้งข้าวสารไว้ให้เย็น นำข้าวสารทั้งหมดไปแยกส่วนที่เป็นต้นข้าว และ ข้าวหักออกจากกันด้วยเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Sizing device) จากนั้นชั่งน้ำหนักต้นข้าวแล้วบันทึกค่า นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละต้น จากสมการ

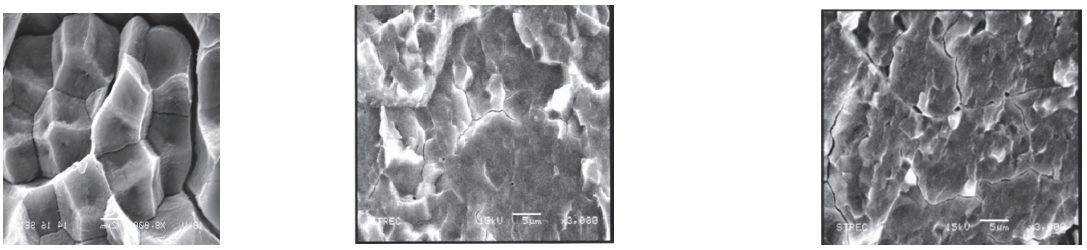
$$\text{ร้อยละต้นข้าว} = \frac{\text{น้ำหนักต้นข้าว} \times 100}{\text{น้ำหนักของข้าวเปลือก}} \quad (1)$$

3. การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน โดยเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวที่ทราบความชื้นแน่นอนแล้ว ทำเป็นสารละลายให้มีความเข้มข้น 30%(w/w โดยน้ำหนักแห้ง) ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นดูดสารละลายแป้งโดยคำนวณให้มีปริมาณ 3.0-3.5 มิลลิกรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ใน pan อลูมิเนียมของเครื่อง Differential Scanning Calorimetry(DSC) เติมน้ำกลั่นประมาณ 10 ไมโครลิตร บ่มไว้นานประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำ Pan ใส่ในช่องตัวอย่างของเครื่อง DSC และวาง Reference indium pan โดยให้ Profile อุณหภูมิ 40-150°C ที่อัตรา 5°C /นาที จากนั้นจึงคำนวณค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาติไนซ์ (Enthalpy,ΔH , °C) จากค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ (Onset temperature,T_o, °C) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนซ์ (Peak temperature,T_p, °C) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนซ์ (Conclusion temperature,T_c, °C)

ผล

ผลของระยะเวลาการ annealing และเวลาการเก็บในที่อับกาศต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Figure 1 (a) แสดงผลึกหลายเหลี่ยมของข้าวที่ผ่านการลดความชื้นแบบธรรมชาติ Figure 1 (b) แสดงการเปลี่ยนแปลงของผลึกเมื่อข้าวผ่านการ annealing ที่ 65°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเมื่อข้าวนำข้าวที่ผ่านการ annealing ดังกล่าวไปอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C และเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 นาที ลักษณะของผลึกข้าวจะเปลี่ยนแปลงไปดัง Figure 1 (c)



(a) Rewetted rice (b) Rice annealed at 65°C for 12 hr (c) Rice annealed at 65°C for 12 hr, then dried at 150°C and tempered 30 min

Figure 1 Scanning electron micrographs of rice starch granules subjected to various treatments (initial moisture content of 33.3% d.b.)

Figure 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดที่เงื่อนไขต่างๆ กล่าวคือ ข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นตามธรรมชาติ ข้าวที่ผ่านการ annealing ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวที่ผ่านกระบวนการ annealing ดังกล่าวไปลดความชื้นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150°C ต่อด้วยการเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 0 นาที และ 30 นาที ตามลำดับ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ annealing มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณข้าวเต็มเมล็ด เมื่อเปรียบเทียบข้าวที่ไม่ผ่านการ annealing แต่มีการลดความชื้นด้วยการตากลาน การลดความชื้นด้วยลมร้อนอุณภูมิ 150°C และการลดความชื้นด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 150°C ตามด้วยการเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 นาที จะพบว่าปริมาณข้าวเต็มเมล็ดอยู่ที่ 51.6% 44.4% และ 52.5% ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อข้าวผ่านการ annealing เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดเพิ่มขึ้นเป็น 59.3%

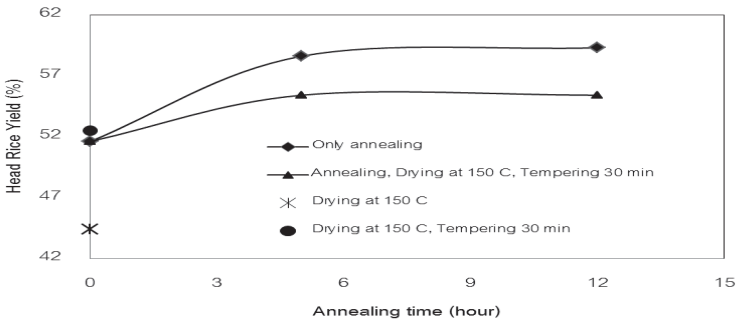


Figure 2 Change of head rice yield on various annealing and drying conditions

Table 1 Thermal analysis of annealed and dried samples in various conditions

Condition	Gelatinization temperature (°C)			ΔH (J/g)
	T_o	T_p	T_c	
Reference	64.0	71.7	79.6	6.5±0.22
Drying at 150°C	66.4	71.6	80.3	5.1±0.08
Drying at 150°C, Tempering 30 min	69.7	74.5	82.7	3.8±0.04
Annealing 5 h	63.9	67.5	71.5	3.4±0.09
Annealing 12 h	65.3	68.8	72.6	3.2±0.11
Annealing 5 h, Drying at 150°C, Tempering 30 min	68.1	71.7	75.0	4.0±0.17
Annealing 12 h, Drying at 150°C, Tempering 30 min	69.4	72.7	75.7	4.2±0.08

Table 1 แสดงค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และ อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) ของการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งข้าวที่เงื่อนไขต่างๆ โดยเมื่อเวลาของการอบอ่อนเพิ่มขึ้นจาก 5 ชั่วโมง เป็น 12 ชั่วโมง ค่าต่างๆ มีการเพิ่มขึ้น โดย ค่า T_o เพิ่มขึ้นจาก 63.9°C เป็น 65.3°C ค่า T_p เพิ่มขึ้นจาก 67.5°C เป็น 68.8°C และ ค่า T_c เพิ่มขึ้นจาก 71.5°C เป็น 72.6°C ตามลำดับ แต่เมื่อมีการนำข้าวที่ผ่านการ annealing ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C ตามด้วยการเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 นาที จะพบว่า ค่าต่างๆ ที่ได้เพิ่มขึ้น

วิจารณ์ผล

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในเม็ดแป้งข้าว พบว่า เมื่อข้าวผ่านการ annealing ผลึกจะหลอมละลายส่งผลให้ช่องว่างระหว่างผลึกลดลง ทั้งนี้น่าจะมาจากเมื่อแป้งได้รับความร้อน ส่วนที่เป็นอะมิโลสจะละลายและดูดซับน้ำได้มาก ทำให้เกิดการพองตัวได้มากขึ้น (Jaisut *et al*., 2008; Matthews and Spadaro, 1976) โมเลกุลจะเข้ามาใกล้ชิดกันและยึดเข้าด้วยกันทำให้โครงสร้างโมเลกุลแข็งแรงขึ้น ส่งผลให้รอยร้าวหรือรอยแตกภายในเมล็ดข้าวสามารถประสานกันอย่างสนิท (Inprasit and Noomhorm, 2001) โดยเมื่อนำข้าวที่ผ่านการ annealing ไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150°C ตามด้วยการเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 นาที ผลึกข้าวที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก นอกจากสังเกตเห็นร้อยร้าวที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เกิดรอยร้าวเพิ่มขึ้น (Taweerattanapanich *et al*., 1999) แต่ทั้งนี้ กระบวนการเก็บในที่อับอากาศสามารถช่วยลด stress ในระหว่างกระบวนการอบแห้งทำให้รอยร้าวไม่เพิ่มขึ้นมากนัก (Soponronnarit *et al*., 1999) จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และ ผลของการหาสมบัติเชิงความร้อน

สรุป

การ annealing ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณร้อยละต้นข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยเมื่อระยะเวลาในการ annealing เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณข้าวเต็มเมล็ด โดยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยการตากลาน พบว่า ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดเมื่อผ่านการ annealing จะให้ค่าที่สูงกว่า แต่เมื่อนำไปผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูง 150°C ตามด้วยการเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 นาที ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดจะลดลงเล็กน้อย แต่ทั้งนี้ข้อดีของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิสูง ตามด้วยการเก็บในที่อับอากาศ ส่งผลดีต่อระยะเวลาในการผลิตมากเมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยการตากลาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงแนะนำเงื่อนไขการ annealing ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 120 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูง 150°C และเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 นาที

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานการอุดมศึกษา ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อม และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมบัติทางเคมีกายภาพ

เอกสารอ้างอิง

Jaisut, D., S. Prachayawarakorn, W. Varanyanon, P. Tungtakul and S. Soponrannarit. 2008. Effects of Temperature and Tempering Time on Starch Digestibility of Brown Fragrant Rice. Journal of Food Engineering 86(2): 251-258.

Juliano, B.O., G.M. Bautista, J.C. Lugay and A.C. Reyes. 1964. Studies on the Physicochemical Properties of Rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry 12: 131-138.

Genkina, N. K., L. A. Wasserman and V. P. Yuryev. 2004. Annealing of Starches from Tubers Grown at Different Environmental Temperatures. Effect of heating duration. Carbohydr. Polym. 56: 367-370.

Matthews, J. and J.J. Spadaro. 1976. Breakage of Long-grain Rice in Relation to Kernel Thickness". Cereal Chemistry 53(1): 13-19.

Inprasit, C. and A. Noomhorm. 2001. Effect of Drying Air Temperature and Grain Temperature of Different Types of Drying and Operation on Rice Quality. Drying Technology 19: 389-404.

Taweerattanapanich, A., S. Soponronnarit, S. Wetchacama, N. Kongseri and S. Wongpiyachon. 1999. Effect of Drying on Head Rice Yield Using Fluidization Technique. Drying Technology 17 (1+2): 345-353.

Soponronnarit, S., S. Wetchacama, T. Swasdisevi and N. Poomsa-ad. 1999. Managing Moist Paddy by Drying Tempering and Ambient Air Ventilation. Drying Technology 17 (1+2): 335-344.