

การเร่งความแก่ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยเทคนิคการอบลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหล คลุกเคล้า

Accelerated Aging of Khao Dawk Mali 105 Paddy Rice Variety by Circulating Mixed Flow Technique

กิตติศักดิ์ วสันตวงศ์^{1,2} อารีรัตน์ อิ่มศิลป์^{1*} และระดา อิ่มศิลป์²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยเทคนิคการอบลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า และเปรียบเทียบคุณภาพและต้นทุนการผลิตระหว่างข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่ ข้าวเก่าตามธรรมชาติ และข้าวใหม่ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความแก่คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้ง และอุณหภูมิลมร้อนในการเก็บรักษาที่สภาวะบรรยากาศ เท่ากับ 21-25%, 70°C และ 50°C ตามลำดับ โดยมีผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาว และค่าความมันเท่ากับ 71.21±0.06, 58.19±0.06, 40.22±0.03 และ 3.62±0.03% ตามลำดับ คุณภาพข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่มีปริมาณผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ความขาว ความมัน อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของข้าวสุก ปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับ อุณหภูมิเริ่มต้น (T₀) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิต่ำสุด (T_c) ของการเกิดเจลลาตินในเซชันเมื่อวัดด้วยเครื่องดีพีเฟอเรียนเทียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter; DSC) สูงกว่าข้าวเก่าตามธรรมชาติและข้าวใหม่ (p<0.05) ลักษณะของสสารในเมล็ดข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่เมื่อวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในรูปแบบของเมล็ดข้าวสารและข้าวสุก พบว่าลมร้อนมีผลทำให้โครงสร้างอสังฐานของเม็ดแป้งถูกทำลายในกระบวนการเกิดเจลลาตินในเซชันของข้าวในระหว่างการเร่งความแก่ของข้าวเปลือก นอกจากนี้ต้นทุนการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกด้วยเทคนิคการอบลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้าเฉลี่ย (1,466.44 บาท) ต่ำกว่าข้าวเก่าที่เก็บรักษาตามธรรมชาติ (1,558.41 บาท) ดังนั้น เทคนิคการอบลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้าจึงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพการสีข้าวโดยเฉพาะผลผลิตข้าวรวมและต้นข้าว และต้นทุนการสีที่ลดลง

คำสำคัญ: ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 การเร่งความแก่ของข้าว เทคนิคการลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า

Abstract

The objective of this study was to investigate the optimization of accelerated aging treatment of Kao Dawk Mali 105 (KDML105) paddy rice by circulating mixed flow technique, and to compare the quality and cost of artificial-aged rice, natural aged rice, and freshly harvested rice. The results showed that the optimum performance initial moisture content of paddy rice, hot air drying temperature and hot air temperature for tempering storage for accelerated aging treatment was 21-25%, 70°C and 50°C, respectively. Its total rice yield, head rice yield, whiteness and transparency value were 71.21±0.06, 58.19±0.06, 40.22±0.03, and 3.62±0.03%,

¹ หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต กรุงเทพฯ 10300

² โครงการโรงสีข้าว สำนักกิจการพิเศษ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี 25000

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-3740-3975-8 โทรสาร 0-3740-3978 Email: areerat_jms@dusit.ac.th / aimsil73@gmail.com

respectively. Rice quality with accelerated aging treatment exhibited the greater of the total rice yield, head rice yield, whiteness value, transparency value, width to length of cooked rice grain ratio, water uptake, onset (T_o), peak (T_p) and conclusion (T_c) temperature of starch gelatinization as determine by differential scanning calorimeter (DSC) than those other natural aged rice and freshly harvested rice ($p < 0.05$). Observation of starch granule morphology of KDML105's accelerated aging treatment in milled and cooked rice form using scanning electron microscopy (SEM) indicated that hot air disrupted the structure of starch granule during the gelatinization of accelerated aging of paddy rice. Furthermore, cost of paddy rice accelerated aging treatment by circulating mixed flow technique (1,466.44 Baht/ton) was lower than natural aged rice (1,558.41 Baht/ton). Therefore, the circulating mixed flow technique provided the practical method for accelerated aging of paddy rice and could improve the milling quality, especially total rice yield and head rice yield, and decreased the cost of production.

Keyword : Kao Dawk Mali 105, Accelerated aging rice, Circulating mixed flow technique

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa*, L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ความชื้นของผลผลิตข้าวเปลือกขณะเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วง 18-26% (มาตรฐานเปียก) โดยความชื้นสูงนี้จะเป็นสาเหตุให้เชื้อจุลินทรีย์และอัตราการหายใจของข้าวเปลือกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดสีเหลืองคล้ำ ก่อให้เกิดการสูญเสียคุณภาพข้าวในด้านปริมาณและคุณภาพ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการลดความชื้นหรืออบแห้งข้าวเปลือกให้เหลือความชื้นประมาณ 12-14% (มาตรฐานเปียก) (Dillahowty *et al.*, 2000) การอบลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นสูงนอกจากจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาข้าวเปลือกและเพิ่มผลผลิตต้นข้าว (Head rice yield) แล้ว ยังเป็นการเร่งความแก่ของข้าวอีกด้วยซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียคุณภาพข้าวจากการทำลายของมอด แมลง การหายใจของเมล็ดข้าว และลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการข้าวระหว่างการเก็บรักษา (ผดุงศักดิ์, 2544) การอบลดความชื้นข้าวเปลือกเพื่อเร่งความแก่ของข้าวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด การใช้เครื่องอบลดความชื้น ได้แก่ การลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า (Circulating mixed flow technique) และการลดความชื้นแบบ Fluidized bed วิธีนี้ลดความชื้นโดยการเป่าลมร้อนอุณหภูมิสูง 150-250°C แก่ข้าวเปลือก นาน 5-10 นาที ซึ่งจะทำความชื้นของข้าวเปลือกลดลงอย่างรวดเร็วและเมล็ดข้าวมีการแตกหักน้อย (สมชาติ และคณะ, 2541) แต่อุปกรณ์ที่ใช้ในเทคนิค Fluidized bed นี้มีราคาสูง ขณะที่การลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้าสามารถเร่งความแก่ของข้าวได้เช่นเดียวกัน โดยลมร้อนจะถูกเป่าสวนทางขณะที่ข้าวเปลือกเคลื่อนที่จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง และการคลุกเคล้าของข้าวเปลือกจะเกิดขึ้นที่ช่องว่างระหว่างครีบบดของตัวกลับหัว (Inverted V-shape) ทำให้ข้าวเปลือกแห้งสม่ำเสมอ (Das and Chakraverty, 2003) ขุนพล และคณะ (2545) สำรวจข้อมูลการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกพบว่าประเทศไทยมีการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้ามากที่สุดถึง 64.5% ดังนั้นหากมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกด้วยเทคนิคนี้เพื่อให้ได้ข้าวเปลือกมีคุณสมบัติที่ดีสามารถสีเป็นข้าวสารที่มีคุณภาพตรงกับความต้องการของตลาด รวมถึงลดต้นทุนในการเก็บรักษาข้าว ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการสามารถเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในตลาดการค้าข้าวได้มากขึ้น

จึงได้ทำงานวิจัยเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยเทคนิคการลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า (Figure 1) และเปรียบเทียบคุณภาพและต้นทุนการผลิตกับข้าวเก่าตามธรรมชาติ (Natural aged rice) และข้าวใหม่ (Freshly harvested rice) ข้อมูลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาณิชย์โดยเฉพาะโรงสีข้าวที่มีการติดตั้งระบบการอบแห้งแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า ซึ่งมีเป็นจำนวนมากในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1.1 เครื่องกะเพาะเปลือก (Satake, Model SB, จากประเทศญี่ปุ่น)
- 1.2 เครื่องขัดสี (Satake, Model SKB, จากประเทศญี่ปุ่น)
- 1.3 เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Satake, TRG05A, จากประเทศญี่ปุ่น)
- 1.4 เครื่องวัดระดับการขัดสี (Satake, MMIC, จากประเทศญี่ปุ่น)
- 1.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (JEOL, JSM-5800LV, จากประเทศญี่ปุ่น)
- 1.6 เครื่องดีพีเฟอเรียนเทียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Perkin Elmer, DSC7, จากประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 1.7 อุปกรณ์ลำเลียงและระบบอบแห้งข้าวเปลือก ประกอบด้วยบ่อเทหรือหลุมรับข้าวเปลือก ขนาด 1.4 x 2.4 x 2.0 เมตร ระบบลำเลียง (กะพ้อม โซ่ลำเลียง สายพาน) เครื่องทำความสะอาด (Pre-cleaner, PC025) กำลังการผลิต 20 ตันข้าวเปลือกต่อชั่วโมง เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า ขนาด 3.0 x 3.5 x 8.0 เมตร³ กำลังการผลิต 20 ตันต่อชั่วโมง เตาเผาแลกเปลี่ยนทางตรง และพัดลม

2. วัสดุดิบ

ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 รวบรวมจากสหกรณ์การเกษตรเพื่อการตลาดลูกค้า ธ.ก.ส. สุรินทร์ จำกัด ปีการเพาะปลูก 2551/52 โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) ข้าวเปลือกใหม่ คือ ข้าวเปลือกที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 3 เดือน เตรียมได้โดยนำข้าวเปลือกที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วมาตากแดดเพื่อลดความชื้นให้เหลือ $13 \pm 0.5\%$ จากนั้นบรรจุใส่กระสอบพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 2) ข้าวเปลือกเก่าตามธรรมชาติ คือ ข้าวเปลือกที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว นาน 6 เดือน ปริมาณความชื้น $13 \pm 0.5\%$ และ 3) ข้าวเปลือกที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยเทคนิคการลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า (Figure 1) ซึ่งเตรียมได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.1

3. วิธีการทดลอง

3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือก

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกนั้น ได้ทำการศึกษาเฉพาะปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 2 ระดับ คือ 15-20 และ 21-25% อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้ง 2 ระดับ 70 และ 80°C และ อุณหภูมิลมร้อนในการเก็บรักษาที่สภาวะอับอากาศ 2 ระดับ คือ 40 และ 50°C ตามลำดับ รวมทั้งหมด 8 วิธีการ (treatment) ในการทดลองที่ 1 นำข้าวเปลือกจำนวน 20 ตัน ปริมาณความชื้น 15-20% มาเทใส่บ่อเทหรือหลุมรองรับข้าวเปลือก ข้าวเปลือกจะถูกลำเลียงไปยังเครื่องทำความสะอาดด้วยกะพ้อม E1 หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้าด้วยกะพ้อม E2 และ E5 เพื่อทำการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้งเท่ากับ 70°C นาน 3 ชั่วโมง ควบคุมอัตราการไหลของข้าวเปลือกให้คงที่เท่ากับ 4-5 Hz/rpm เมื่อเสร็จสิ้นการอบแล้ว ความชื้นของข้าวเปลือกจะลดลงเหลือ 17% ณ อุณหภูมิอากาศแวดล้อมภายนอก 30°C และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 50% ข้าวเปลือกจะถูกนำไปพักที่ไซโล 1 นาน 4 ชั่วโมง

จากนั้นข้าวเปลือกจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้าอีกครั้งด้วยโซ่ลำเลียง C3 และกะพ้อม E5 เพื่อลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือ 15% อุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งครั้งที่ 2 นี้ควบคุมให้คงที่ที่ 60°C เมื่อการอบแห้งเสร็จสิ้น ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 15% จะถูกนำไปพักที่ไซโล 2 ด้วยกะพ้อม E6 ที่อัตราการไหลของ

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวเปลือกเท่ากับ 7-9 Hz/rpm เพื่อทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาวะอับอากาศด้วยกะพ้อ E6 ควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนในไซโลโดยการเป่าเย็นด้วยพัดลม เพื่อให้อุณหภูมิลมร้อนสำหรับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่สภาวะอับอากาศคงที่ที่ 40°C ทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาวะอับอากาศที่ไซโล 1 นาน 3 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกจะลดลงเหลือ 13-14% จากนั้นนำไปเก็บในถังพักข้าวเปลือกด้วยสายพาน B2 กะพ้อ E4 และ E5 เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพข้าว จากนั้นจึงเริ่มดำเนินการทดลองตามวิธีการที่ 2-8 (Table 1)

Table 1 Accelerating aged rice in different conditions

Method	Conditions			Method	Conditions		
	A	B	C		A	B	C
1	15-20%	70°C	40°C	5	21-25%	70°C	40°C
2	15-20%	70°C	50°C	6	21-25%	70°C	50°C
3	15-20%	80°C	40°C	7	21-25%	80°C	40°C
4	15-20%	80°C	50°C	8	21-25%	80°C	50°C

A = initial moisture content of paddy rice, B = hot air drying temperature, and c = hot air temperature for tempering storage

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

วิเคราะห์ลักษณะคุณภาพข้าวที่สำคัญได้แก่ ผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ความขาว และความมันของข้าวสาร ตามวิธีของผดุงศักดิ์ (2544) อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของเมล็ดข้าวสุก ปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับ และปริมาณของแข็งที่สูญเสีย ตามวิธีของ Gujral and Kumar (2003) การวัดอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ตามวิธีของอารีวัตน์ (2544) และศึกษาลักษณะของสตาร์ชในเมล็ดข้าวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ตามวิธีของ Tirawanichakul *et al.* (2004)

3.3 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งมีเงื่อนไขการวิเคราะห์ ดังนี้ 1) ต้นทุนระบบอบแห้ง แบ่งเป็นเครื่องทำความสะอาด (บาท) เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า (บาท) และเตาเผาแลกเปลี่ยนทางตรง (บาท) 2) ระยะเวลาการทำงาน (ชั่วโมงต่อปี) 3) ค่าบำรุงรักษารายปีของระบบอบแห้ง (บาท) 4) ราคาแลกเปลี่ยน (บาทต่อตัน) 5) ราคาซื้อไฟฟ้า (บาทต่อตัน) 6) แรงงาน 1 คน คิดเป็นค่าดำเนินงานต่อชั่วโมง (บาท) และ 7) อัตราดอกเบี้ย (%ปี) โดยคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อใช้คำนวณหาค่าใช้จ่ายรายปี จากข้อมูลเฉลี่ยของอัตราการป้อนข้าวเปลือก อัตราการป้อนแลกเปลี่ยน อัตราการผลิตซื้อไฟฟ้าแลกเปลี่ยน ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก และความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Block Design (CBD) ขนาด 2 x 2 x 2 จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยที่ศึกษา คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 2 ระดับ ได้แก่ 15-20 และ 21-25% อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้ง 2 ระดับ ได้แก่ 70 และ 80°C และอุณหภูมิลมร้อนในการเก็บรักษาที่สภาวะอับอากาศ 2 ระดับ คือ 40 และ 50°C ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2 Effect of initial moisture of paddy rice, hot air drying temperature, and hot air temperature for tempering storage of accerrelated aged rice in different conditions by LSU technique

A	B	C	Milling quality			
			Total rice yield (%)	Head rice yield (%)	Whiteness value (%)	Transparency value (%)
15-20% (n=8)	70°C	40°C	68.24 ± 0.08d	51.76 ± 0.30f	40.53 ± 0.04bc	3.54 ± 0.03d
		50°C	68.63 ± 0.09c	52.32 ± 0.19e	40.47 ± 0.06c	3.50 ± 0.02d
	80°C	40°C	65.56 ± 0.12f	42.71 ± 0.23h	40.37 ± 0.11d	3.52 ± 0.02d
		50°C	67.20 ± 0.02e	50.73 ± 0.05g	40.14 ± 0.03e	3.51 ± 0.01d
21-25% (n=8)	70°C	40°C	70.11 ± 0.08b	57.30 ± 0.13b	40.81 ± 0.02a	3.64 ± 0.04c
		50°C	71.21 ± 0.06a	58.19 ± 0.06a	40.22 ± 0.03e	3.62 ± 0.03c
	80°C	40°C	64.84 ± 0.09g	53.19 ± 0.07d	40.74 ± 0.05a	3.81 ± 0.02a
		50°C	68.49 ± 0.29c	55.16 ± 0.07c	40.61 ± 0.04b	3.76 ± 0.01b

A = initial moisture content of paddy rice, B = hot air drying temperature, and c = hot air temperature for tempering storage

a, b, c indicates that the mean values in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$) by DMRT

จาก Table 2 เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิ 40°C จะให้ผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าวต่ำกว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 50°C ในทุกสภาวะของการอบแห้ง ($p < 0.05$) Kunze (1979) พบว่าในระหว่างการเก็บข้าวในสภาวะอับอากาศ ความชื้นจะเคลื่อนที่จากบริเวณจุดศูนย์กลางเมล็ดข้าวไปสู่บริเวณพื้นผิวของเมล็ดข้าว ทำให้เกรเดียนท์ของความชื้นลดลง ถ้าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้เก็บรักษาข้าวในสภาวะอับอากาศต่ำกว่า T_g (Glass transition temperature) ของเมล็ดข้าว อุณหภูมิของเมล็ดข้าวจะลดลงและสสารข้าวจะอยู่ในสภาวะของแข็ง ส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวสูง ดังนั้น การเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 50°C จึงมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวรวมและต้นข้าวสูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 40°C เนื่องจากการเก็บในสภาวะอุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 50°C สูงกว่าอุณหภูมิ T_g ของข้าว ($T_g = 45^\circ\text{C}$) (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nguyen and Kunze (1984) พบว่าการเก็บข้าวเปลือกในสภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิ 45°C หลังการอบแห้งจะลดปริมาณการเกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวโดยเฉลี่ยประมาณ 25.5% เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บข้าวเปลือกในสภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิ 10°C นอกจากนี้ Elbert *et al.* (2001) รายงานว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกในสภาวะอับอากาศเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ผลผลิตต้นข้าวสูงขึ้นด้วย

สำหรับค่าความขาวและค่าความมันของข้าวเมื่อผ่านการอบแห้งลดความชื้นจะอยู่ในช่วง 40.17 ± 0.03% ถึง 40.81 ± 0.02% และ 3.50 ± 0.02% ถึง 3.81 ± 0.02% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C จะมีค่าความขาวต่ำกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70°C เนื่องจากความร้อนจะทำให้การยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลภายในของน้ำตาลหลุดออกจากกัน กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลต่ำและเกิดเป็นสารประกอบคีโตน (Ketone) ทำให้เมล็ดข้าวสารมีสีเหลือง และส่งผลให้ความขาวของเมล็ดข้าวลดลง (ภูมิสิทธิ์, 2545)

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 คือข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 21-25% อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้ง 70°C และอุณหภูมิลมร้อนในการเก็บรักษาที่สภาวะอับอากาศ 50°C เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณภาพข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่ด้วยสภาวะที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับข้าวแก่ตามธรรมชาติและข้าวใหม่

2.1 ผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าว

ข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่ด้วยสภาวะที่เหมาะสมให้ผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าวเท่ากับ 71.21 ± 0.06 และ $58.19 \pm 0.06\%$ ซึ่งสูงกว่า ($p < 0.05$) ข้าวแก่ตามธรรมชาติ ($53.95 \pm 0.17\%$, $36.47 \pm 0.04\%$) และข้าวใหม่ ($50.30 \pm 0.17\%$, $32.32 \pm 0.16\%$) (Table 3) เนื่องจากการเร่งความแก่ของข้าวจะทำให้เม็ดแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ผลจากกระบวนการดังกล่าวทำให้รอยร้าวหรือการแตกตัวของเมล็ดข้าวลดลง ส่งผลให้ผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าวสูงเมื่อนำข้าวมาขัดสี (ผดุงศักดิ์, 2535) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวแก่ตามธรรมชาติมีผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าวสูงกว่าข้าวใหม่ Mod *et al.* (1983) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาข้าวจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเพอรอกไซด์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้ามและเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

2.2 ค่าความขาวและค่าความมัน

ค่าความขาวและความมันของข้าวแก่ที่ผ่านการเร่งความแก่ ($40.22 \pm 0.03\%$, $3.62 \pm 0.03\%$) จะมีค่าสูงกว่าข้าวใหม่ ($38.05 \pm 0.08\%$, $3.54 \pm 0.01\%$) และข้าวแก่ตามธรรมชาติ ($36.41 \pm 0.16\%$, $3.42 \pm 0.03\%$) ตามลำดับ ($p < 0.05$) (Table 3) เนื่องจากการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งในเมล็ดข้าวทำให้เมล็ดข้าวมีค่าความขาวและความมันเพิ่มขึ้น (Gujral and Kumar, 2003)

2.3 อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของเมล็ดข้าวสุก ปริมาณน้ำที่ดูดซับ และปริมาณของแข็งที่สูญเสีย

อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของข้าวสุกที่ผ่านการเร่งความแก่มีค่าสูงกว่าข้าวแก่ตามธรรมชาติและข้าวใหม่ ตามลำดับ ($p < 0.05$) (Table 3) ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วนของเม็ดแป้งในเมล็ดข้าว Desikachar and Subrahmanyam (1959) อธิบายว่าการเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วนของสตาร์ชข้าวทำให้ผนังเอนโดเพิร์มของข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น มีผลทำให้สตาร์ชดูดซึมน้ำมากขึ้นในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวจึงขยายปริมาตรเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของเมล็ดข้าวสุก

ปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับของข้าวแก่ที่ผ่านการเร่งความแก่มีค่าสูงกว่าข้าวแก่ตามธรรมชาติและข้าวใหม่ ตามลำดับ ($p < 0.05$) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของเม็ดแป้งในระหว่างการอบลดความชื้นข้าวเปลือก (Villareal *et al.*, 1976)

ปริมาณของแข็งที่สูญเสียของข้าวแก่ที่ผ่านการเร่งความแก่มีค่าต่ำกว่าข้าวแก่ตามธรรมชาติและข้าวใหม่ ตามลำดับ ($p < 0.05$) (Table 3) การเร่งความแก่ด้วยลมร้อนอุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้สตาร์ชในเมล็ดข้าวเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันบางส่วนและมีความต้านทานต่อการแตกตัวของสตาร์ชในกระบวนการเจลาติไนเซชันได้สูง จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในน้ำที่ได้จากการหุงต้มต่ำกว่าประเภทอื่น ๆ (Gujral and Kumar, 2003)

2.4 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันเมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรียนเทียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

Table 4 พบว่าข้าวแก่ที่ผ่านการเร่งความแก่มีอุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิต่ำสุด (T_c) ของการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าข้าวแก่ตามธรรมชาติและข้าวใหม่ ตามลำดับ ($p < 0.05$) Pisithkul *et al.* (2011) อธิบายว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดของการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่อาจจะเกี่ยวข้องกับการสูญเสียความสามารถในการละลาย (Solubility) ของสตาร์ชในเมล็ดข้าวเมื่อนำมาผ่านการให้ความร้อน นอกจากนี้ในระหว่างการให้ความร้อนอาจเกิดกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ระหว่างสตาร์ชและโปรตีนยึดเกาะ (Starch granule-bound protein) ในเมล็ดข้าว ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะยับยั้งการดูดซึมน้ำและการพองตัวของสตาร์ช ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่จึงเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3 Milling quality, cooking quality, and gelatinization temperature of accelerated aged rice compared with natural aged rice and freshly harvested rice

Type of rice	Milling quality (%)					Cooking quality	
	Total rice yield	Head rice yield	Whiteness value	Transparency value	Width to length ratio of cooked rice	Water absorption (%)	Solid loss content (%)
Fresh rice kept at 3 months	50.30 ± 0.17c	32.34 ± 0.16c	38.05 ± 0.08c	3.54 ± 0.01c	0.14 ± 0.02c	83.67 ± 1.52c	10.56 ± 0.35a
Aged rice kept at 6 months	53.95 ± 0.17b	36.47 ± 0.04b	36.41 ± 0.16b	3.42 ± 0.03b	1.04 ± 0.05b	107.66 ± 1.53b	4.57 ± 0.31b
Accelerated aged rice	71.21 ± 0.06a	58.19 ± 0.06a	40.22 ± 0.03a	3.62 ± 0.03a	2.14 ± 0.03a	133.60 ± 2.08a	1.33 ± 0.04c

^{a, b, c} indicates that the mean values in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$) by DMRT

Table 4 Gelatinization temperature of accelerated aged rice compared with natural aged rice and freshly harvested rice using differential scanning calorimeter measurement

Type of rice	Gelatinization temperature (°C)		
	Onset temperature (T_o)	Peak temperature (T_p)	Conclusion temperature (T_c)
Fresh rice kept at 3 months	58.50 ± 0.36c	62.40 ± 0.43c	71.40 ± 0.34c
Aged rice kept at 6 months	64.43 ± 0.32b	73.36 ± 0.25b	79.44 ± 0.15b
Accelerated aged rice	66.46 ± 0.25a	77.43 ± 0.15a	84.52 ± 0.20a

^{a, b, c} indicates that the mean values in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$) by DMRT

2.5 ลักษณะของสตาร์ชในเมล็ดข้าวเมื่อวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

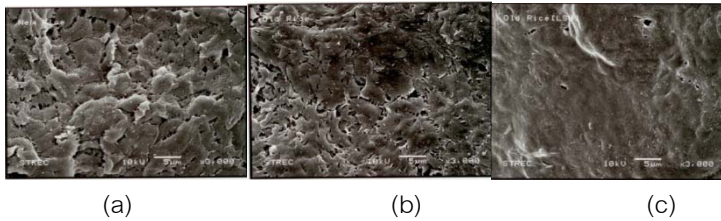


Figure 2 Starch granule characteristics of milled rice of freshly harvested rice (a), naturally aged rice (b), and accelerated aged rice (c) by scanning electron microscope (x 3,000)

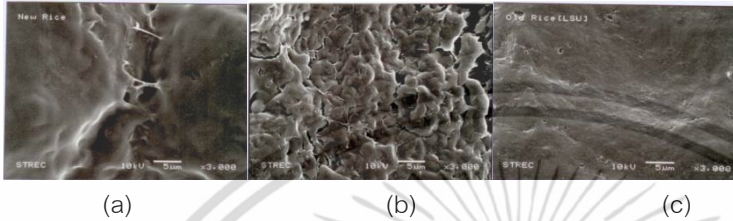


Figure 3 Starch granule characteristics of cooked rice of freshly harvested rice (a), naturally aged rice (b), and accelerated aged rice (c) by scanning electron microscope (x 3,000)

ลักษณะพื้นฐานเม็ดสตาร์ชของข้าวสารใหม่เป็นรูปหลายเหลี่ยม (Polygonal morphology) (Figure 2a) แต่เมื่อนำมาหุงจะมีลักษณะเหนียวติดกัน (Figure 3a) โดยสอดคล้องกับงานชิ้น (2545) ซึ่งกล่าวว่าข้าวใหม่เมื่อนำมาหุงต้ม ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกจะนุ่ม และจะมีลักษณะเป็นยาง ส่วนลักษณะพื้นฐานของเม็ดสตาร์ชข้าวเก่าตามธรรมชาติทั้งในรูปของข้าวสาร (Figure 2b) และข้าวสุก (Figure 3b) ยังคงมีลักษณะเป็นเม็ดสตาร์ช ในขณะที่ข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าในรูปข้าวสาร (Figure 2c) และข้าวสุก (Figure 3c) จะไม่พบลักษณะพื้นฐานของเม็ดสตาร์ช ซึ่งเกิดจากเม็ดสตาร์ชถูกทำลายในระหว่างการเกิดเจลลิตีในเซชัน Bhattacharya *et al.* (2004) พบว่าระหว่างการให้ความร้อนแก่เม็ดสตาร์ช น้ำตาลมอลโทสซึ่งเป็น Reducing sugar จะหลุดออกจากโมเลกุลของสตาร์ชส่งผลให้โครงสร้างของสตาร์ชถูกทำลาย แต่ Pisithkul *et al.* (2011) พบว่าความร้อนที่ใช้ในการเร่งความเก่าของข้าวจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อลักษณะพื้นฐานของเม็ดแป้ง

2.6 ต้นทุนการผลิตข้าวเก่าโดยการเร่งความเก่าเปรียบเทียบกับข้าวเก่าตามธรรมชาติ

ส่วนต้นทุนการผลิตข้าวทั้ง 2 ประเภท พบว่าข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่ามีต้นทุนเฉลี่ย 1,466.44 บาท/ตัน ขณะที่ข้าวเก่าที่เก็บรักษาตามธรรมชาติมีต้นทุนเฉลี่ย 1,558.41 บาท/ตัน จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตข้าวเก่าตามธรรมชาติสูงกว่าข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าถึง 3.80 บาท/กิโลกรัม สาเหตุมาจากข้าวเก่าตามธรรมชาติมีปริมาณผลผลิตข้าวรวมผลผลิตต้นข้าวต่ำกว่าข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่า (Table 2) จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่า

สรุป

1. สภาวะการเร่งความเก่าข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เหมาะสม คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิความร้อนในการอบแห้ง และอุณหภูมิความร้อนในการเก็บรักษาที่สภาวะอับอากาศ เท่ากับ 21-25%, 70°C และ 50°C ตามลำดับ

2. การเร่งความเก่าของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยเทคนิคการอบลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้านอกจากช่วยทำให้คุณสมบัติของข้าวมีลักษณะเป็นข้าวเก่าแล้ว ยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตข้าวและผลผลิตต้นข้าวอีกด้วยซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มความสามารถแข่งขันในตลาดการค้าข้าวได้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิตที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ขุนพล สังข์อารีย์กุล สมบูรณ์ เวชกามา อติศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์ และสมชาติ ไสภณรณฤทธิ์. 2545. การประเมินสถานภาพเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกในประเทศไทย. วารสารสมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย. 9(1): 32-41.
งามชื่น คงเสรี. 2545. คุณภาพข้าวสวย ใน คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร.

ผดุงศักดิ์ วานิชชัง. 2535. การจัดการโรงสี. ภาควิชาเกษตรกลวิธาน. คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ชลบุรี.

ผดุงศักดิ์ วานิชชัง. 2544. การพัฒนาเครื่องทดสอบการคัดแยกสิ่งเจือปนในเมล็ดข้าว. คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ.

ภูมิสิทธิ์ วรรณชาวี. 2545. การศึกษาการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกหอมมะลิโดยใช้อุณหภูมิและระยะเวลาอบเป็นปัจจัยเร่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์ อติเทพ ทวีรัตน์พาณิชย์ สมบูรณ์ เวชกามา งามชื่น คงเสรี และสุนันทา วงศ์ปิยชน. 2541. ผลพลอยได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน. เอกสารประกอบคำบรรยายในการประชุมราชบัณฑิตสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสถาน. 24(2): 49-64.

อารีรัตน์ อิมศิริป. 2544. การศึกษาการเกิดริโทกราดเดชันของข้าวเจ้าสุกในระหว่างการเก็บรักษา. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Bhattacharyya, P., U. Ghosh, U.R. Chowdhuri, P. Chattopadhyay and H. Gangopadhyay. 2004. Effects of different treatments on physicochemical properties of rice starch. J. of Sci and Industrial Res. 63: 826-829.

Das, S.K. and A. Chakraverty. 2003. Grain-drying systems. In A. Chakraverty, A.S. Mujumdar, G.S. Vijaya Raghavan and H.S. Ramaswamy, Handbook of Postharvest Technology: Cereals, Fruits, Vegetables, Tea and Spices. Marcel Dekker: New York.

Desikachar, H.S.R. and V. Subrahmanyam. 1959. Expansion of new and old rice during cooking. Cereal Chem. 36: 385-391.

Dillahowty, A.L., T.J. Siebenmorgen, R.W. Buescher, D.E. Smith and A. Mauromoustakos. 2000. Effect of moisture content and temperature on respiration rate of rice. Cereal Chem. 77: 541-543.

Elbert, G., P. Marcela and C. Suarez. 2001. Effect of drying condition on head rice yield and browning index of parboiled rice. J. of Food Eng. 47: 37-41.

Gujral, H.S. and V. Kumar. 2003. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. J. of Food Eng. 59: 117-121.

Kunze, O.R. and M.S.U. Choudhury. 1972. Moisture adsorption related to the tensile strength of rice. Cereal Chem. 49: 684-696.

Kunze, O.R. 1979. Fissuring of the rice grain after heated air-drying. Trans of the ASAE. 22: 1197-1202, 1207.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kunze, O.R. and D.L. Calderwood. 2004. *Rough rice drying-moisture adsorption and desorption*. In E.T. Champagne, Rice: Chemistry and Technology. American association of cereal chemists. St. Paul, U.S.A.
- Mod, R.R., E.J. Conkerton, D.C. Chapital and L.Y. Yatsu. 1983. Rice phenolic acids and their changes with aging. (Abstract). *Cereal Food World*. 28: 560.
- Nguyen, C.N. and O.R. Kunze. 1984. Fissures related to post-drying treatments in rough rice. *Cereal Chem.* 61: 63-68.
- Pisithkul, K., S. Jongkaewwattana, S. Wongpornchai, V. Tulyathan and S. Meechoui. 2011. Effects of accelerated aging on changes in starch granule morphology, thermal and protein properties of freshly-harvested rice starch. *Agri Sci J.* 42(1): 445-448.
- Tirawanichakul, S., S. Prachayawakorn, W. Varanyanond, P. Tungtrakul and S. Soponronnarit. 2004. Effect of fluidized bed drying temperature on various quality attributes of paddy. *Drying Tech.* 22(7): 1731-1754.
- Villareal, R.M., P.A. Resurreccion, B.L. Suzuki and B.O. Juliano. 1976. Changes in physicochemical properties of rice during storage. *Starch*. 28: 88-94.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้