

ผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกในบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิ และระยะเวลา ต่อคุณภาพของข้าวฮางอก

Effects of Rough Rice Storage in Different Packages, Storage Temperature and Periods on Qualities of Parboiled Germinated Rice

เวียงโขง วันสะหวาง¹ วีระเวทย์ อุทโท^{1,2} เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด¹ วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์¹ และเมทินี มาเวียง¹
Viengkong Vansavang¹ Weerawate Utto^{1,2} Ekasit Onsaard¹ Wachirapun Boonyaputtipong¹ and Metinee Maweang¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือก (ความชื้นเฉลี่ย เท่ากับ 14.25% น้ำหนักแห้ง) ในบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ ต่อคุณภาพของข้าวฮางอกตามการวางแผนดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองในรูปแบบ 3x3x3 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ชนิดของบรรจุภัณฑ์ คือ ถุงกระสอบพลาสติกสาน (WPP) ถุง SuperGrainBags™ (SGB) และถุงอลูมิเนียมลามิเนต (AI/PE) โดยน้ำหนักข้าวเปลือก เท่ากับ 500g ต่อถุง (ขนาด 17.5cm X 28cm) อุณหภูมิการเก็บรักษา (25 35 และ 45°C) และ ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก (30 90 และ 180 วัน) ผลการศึกษาพบว่าก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงเก็บข้าวเปลือกชนิดพลาสติกสาน (WPP) ไม่มีความเข้มข้นที่แตกต่างจากอากาศปกติ ในขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซในถุง SGB และ AI/PE เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะปกติ โดยก๊าซออกซิเจนมีความเข้มข้นลดลง ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษาเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือกในบรรจุภัณฑ์ชนิด WPP ที่เก็บรักษาในทุกอุณหภูมิลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ข้าวเปลือกที่บรรจุในถุง SGB และถุง AI/PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C มีระดับการงอกการงอกลดลงอย่างชัดเจนโดยเฉพาะการเก็บรักษาในถุง AI/PE มีการลดลงเร็วที่สุด การเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงและในบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะ AI/PE ส่งผลให้ค่าสี a^* และ b^* ข้าวฮางอกในระหว่างการเก็บรักษามีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าของค่าที่วัดในวันที่ 0 นอกจากนี้ค่า h^o ของข้าวฮางอกลดลงจาก 84° เหลือเท่ากับ 76° ทำให้เห็นได้ว่าข้าวฮางอกมีสีที่คล้ำมากขึ้น ค่าความแข็งของข้าวฮางอกหุงสุกมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยเฉพาะเมื่อเก็บข้าวเปลือกในถุง SGB และ AI/PE ที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C ในขณะที่ข้าวฮางอกหุงสุกที่ผลิตจากข้าวเปลือกซึ่งเก็บรักษาในถุง WPP มีความแข็งน้อยที่สุด ปริมาณสาร γ -amino-butyric acid (GABA) ในข้าวฮางอกมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการเก็บข้าวเปลือกในถุง SGB และ AI/PE ที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษา (อุณหภูมิ และ ระยะเวลาการเก็บรักษา) ของข้าวเปลือกส่งผลต่อคุณภาพของข้าวฮางอก และสามารถสรุปได้ว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถุงกระสอบพลาสติกสาน ที่อุณหภูมิ 25°C หรือ 35°C ไม่เกิน 90 วัน เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาข้าวเปลือกเพื่อเป็นแปรรูปเป็นข้าวฮางอกต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก บรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บรักษา ข้าวฮางอก สาร γ -amino-butyric acid (GABA)

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

² ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400

Abstract

This study was conducted to investigate effects of rough rice storage in different packages, storage temperatures and periods on qualities of parboiled germinated rice (PGR). Moisture content of rough rice averagely was 14.25% (dry basis). The experiment design was 3x3x3 factorial in completely randomized design (CRD). The factors of this experiment were types of packages, including woven polypropylene (WPP) bag, SuperGrainBags™ (SGB) and aluminium laminated bag (Al/PE) having a size of 17.5 cm X 28 cm into which 500 g rice was packaged, storage temperatures (25, 35 and 45°C) and storage periods (30, 90, and 180 days). The results showed that gaseous concentrations measured in WPP bags were not different from those measured in an ambient air. Whilst those measured in SGB and Al/PE bags were modified from ambient condition i.e. decreased O₂ and increased CO₂ concentrations. Although germination percentages of rough rice packaged in WPP kept at all temperatures became slightly decreased, those of rough rice packaged in SGB and Al/PE bags kept at 35°C and 45°C were significantly decreased. The Al/PE treatment showed the highest rate of germination reduction. Rough rice packaged in SGB and Al/PE bags kept at high temperatures subsequently caused increases in a* and b* values of PGR especially kept in Al/PE of which the values measured during the storage period nearly doubled those measured on Day 0. Furthermore an average h° value of such PGR decreased from 84° to 76° indicating that PGR became darker. Hardness of cooked PGR was increased by storage periods of rough rice, particularly the samples in SGB and Al/PE bags kept at 35°C and 45°C. The cooked PGR from WPP had the lowest hardness value. The γ--amino-butyric acid (GABA) content of PGR continuously decrease, during storage in particular those of PGR from SGB and Al/PE kept at 35°C and 45°C. The present research highlights that packaging type and storage conditions (temperature and period) of rough rice significantly affect quality of PGR. It can be concluded that rough rice storage in WPP kept at 25°C and 35°C within 90 days is considered for the suitable conditions to keep rough rice for PGR processing.

Keywords: rough rice, packaging, storage temperature, storage period, parboiled germinated rice, γ-amino-butyric acid (GABA)

บทนำ

ข้าวฮางอก (parboiled germinated rice; PGR) เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากการนำข้าวเปลือกมาเพาะงอก ก่อนการทำแห้งและกะเทาะเปลือก ผลิตภัณฑ์ข้าวฮางอกมีสีเหลืองอ่อน กลิ่นหอมเฉพาะของข้าว โดยข้าวฮางอกมีมูลค่าทางการตลาดที่สูง (ปาริชาติ และคณะ, 2557) และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะสารสำคัญต่างๆในข้าวฮางอก โดยเฉพาะสารกรดแกมมา-แอมิโนบิวเทริก (gamma-aminobutyric acid; GABA) ที่เกิดจากการสลายตัวของกลูตามิกกรดที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (พลน 2554; Soraya and Tongchai 2015) ข้าวฮางอกที่ผ่านการกะเทาะเปลือกมีแนวโน้มเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายโดยเฉพาะการเกิดกลิ่นหืน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างก๊าซออกซิเจนและส่วนประกอบที่เป็นไขมันและน้ำมันของข้าวที่มีอยู่มากบริเวณเยื่อหุ้มน้ำมันรำข้าว (bran layer) (Champagne and Grimm, 1995) ดังนั้นการเก็บข้าวเปลือกด้วยบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมเพื่อทำการผลิตเป็นข้าวฮางอกให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาดจึงมีความสำคัญ ซึ่งแนวทางนี้ช่วยให้ผู้ประกอบการยังไม่ต้องทำการผลิตข้าวฮางอกทันทีหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวเปลือก จึงช่วยลดการสูญเสียของข้าวฮางอกได้

บรรจุภัณฑ์เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของข้าวเปลือก เช่น เปอร์เซ็นต์การงอก (พรทิพย์ และคณะ, 2553) การเก็บรักษาข้าวในสภาวะปิดเป็นแนวทางสำคัญในการเก็บรักษาข้าวเปลือก เพราะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศลดลง ในขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการกระบวนการหายใจของเมล็ดข้าวเปลือก (Emekci *et al.*, 2001) ส่งผลให้ชะลอการเจริญของแมลงศัตรูและเชื้อจุลินทรีย์ (Caliboso and Sabio, 1988) ปัจจุบันถุงพลาสติก SuperGrainBags™ ที่พัฒนาโดย International Rice Research Institute (IRRI) ได้นำมาใช้ในการเก็บข้าวเปลือกในสภาวะปิด เนื่องจากฟิล์มพลาสติกมีการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในระดับที่ต่ำ (4-5 ml/m²/day) การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถุงพลาสติก SuperGrainBags™ สามารถรักษาอัตราการงอกของข้าวเปลือกได้ดีและมีการเจริญของแมลงศัตรูในระดับที่ต่ำมาก (พรทิพย์ และคณะ, 2553) อย่างไรก็ตามการศึกษาลักษณะของการเก็บรักษาข้าวเปลือกด้วยถุง SuperGrainBags™ เปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์อื่นๆ ในสภาวะอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ เพื่อการผลิตข้าวฮางอกยังไม่ได้มีการรายงาน ทั้งนี้อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือก (Juliano, 1985) ดังนั้นความรู้และข้อมูลด้านการบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก จึงมีความสำคัญต่อผู้ผลิตในการวางแผนนำข้าวเปลือกมาผลิตเป็นข้าวฮางอกให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดได้

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือก (พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105) ในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติก SuperGrainBags™ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ (25-45°C) เป็นเวลา 180 วัน โดยทำการเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบข้าวเปลือก การบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษา

การศึกษานี้ใช้ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 จากพื้นที่ปลูกในอำเภอลำลูกเกด จังหวัดอุบลราชธานี ฤดูกาลเก็บเกี่ยวในเดือนพฤศจิกายน พ. ศ.2558 นำมาทำความสะอาดโดยการแยกเอาฝุ่น เศษไม้ ดิน หินออก

2. การศึกษาอิทธิพลของชนิดบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา

การเก็บรักษาข้าวเปลือกได้เลือกใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทถุงพลาสติก ขนาด 17.5cm X 28cm (กว้าง X ยาว) โดยถุงพลาสติกที่ใช้มี 3 ชนิดได้แก่ (1) ถุงพลาสติกสาน woven polypropylene (WPP) และไม่ได้ทำการรองชั้นด้วยพลาสติกภายในถุง (2) ถุงพลาสติกประเภทลามิเนต SuperGrainBags™ (SGB) บริษัท Grain Pro Inc. ซึ่งเป็นถุงพลาสติกหลายชั้น ความหนา 78µm (บริษัท บีเอ็นเอส อินเตอร์เทรด จำกัด) มีค่า oxygen transmission rate (OTR)

เท่ากับ $4.28 \text{ ml/m}^2/\text{day}$ และค่า water vapour transmission rate (WVTR) เท่ากับ $2.14 \text{ g/cm}^2/\text{day}$ และ (3) ถุงลามิเนต Al/PE (บริษัท จิตรบรรจภัณฑ์ จำกัด) ซึ่งพลาสติกหลายชั้นโดยนำแผ่นอลูมิเนียมประกบกับฟิล์มพลาสติก polyethylene (PE) ทั้งนี้ฟิล์ม Al/PE มีค่า OTR ประมาณ $0 \text{ ml/m}^2/\text{day}$ และ WVTR เท่ากับ $0.001 \text{ g/cm}^2/\text{day}$ (Robertson, 1993)

การบรรจุข้าวเปลือกลงในบรรจุภัณฑ์ได้ใช้การบรรจุแบบอากาศปกติ (air packaging) โดยบรรจุข้าวเปลือกน้ำหนักเท่ากับ 500 กรัมต่อถุง จากนั้นทำการเก็บรักษาบรรจุภัณฑ์ข้าวเปลือก ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 25 35 และ 45°C เป็นระยะเวลา 180 วัน ทั้งนี้การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถุง WPP และเก็บรักษาที่ 35°C จัดเป็นสิ่งทดลองควบคุม ในวันที่ 30 90 และ 180 วัน ได้ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพบางประการของข้าวเปลือก และนำข้าวเปลือกที่สุ่มตัวอย่างมาแปรรูปเป็นข้าวฮางอก พร้อมทั้งทำการตรวจสอบคุณภาพของข้าวฮางอกภายหลังการผลิต

3. การผลิตข้าวฮางอก (ข้าวสารที่แปรรูปจากข้าวเปลือก)

3.1 การทำข้าวฮางอก

การทำข้าวฮางอกได้ใช้วิธีของ เวียงโขง และคณะ (2557) โดยนำข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บในสภาวะต่างๆ (ความชื้นเฉลี่ย เท่ากับ 14.25% น้ำหนักแห้ง ซึ่งหาความชื้นด้วยวิธี air oven method, AOAC, 1995) มาแช่น้ำสะอาดในอัตราข้าวต่อน้ำ 1:2 ที่อุณหภูมิห้อง ($35\text{--}36^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เปลี่ยนน้ำ ทุกๆ 8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเพาะงอกในกระสอบป่านที่เปียกน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในที่กลางแจ้ง โดยมีผ้าพลาสติกห่อหุ้มตัวคลุมทับกระสอบป่าน ภายหลังจากการเพาะงอก ได้นำข้าวไปนึ่งในหม้อหนึ่ง ด้วยเวลา 25 นาที ที่อุณหภูมิ 80°C จากนั้นนำมาผึ่งแดดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาพักในที่ร่มเป็นเวลา 16 ชั่วโมงก่อนการนำข้าวมากะเทาะเปลือกเป็นข้าวฮางอก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก รุ่น MS 100 (บริษัทสิงห์สยาม ประเทศไทย) จากนั้นทำการคัดแยกเปลือกและเมล็ดดำเน่าเสียออก จัดเก็บข้าวในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตขนาด $15 \times 20 \text{ cm}$ เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

3.2 การวัดสีของข้าวฮางอก

ดำเนินการสุ่มเมล็ดข้าวฮางอก 15 กรัม นำมาใส่ plate สำหรับวัดสีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ความสูง 1 cm จากนั้นทำการวัดสี โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab System CIELAB; Colorflex 4510) โดยใช้ระบบ L^* , a^* , b^* และ Hue angle (h°) ค่า L^* คือค่าความสว่าง ($0\text{--}100$), a^* แสดงค่าสีแดง (ค่า a^* เป็นค่าบวก) และสีเขียว (ค่า a^* เป็นค่าลบ) และ ค่า b^* แสดงค่าสีเหลือง (ค่า b^* เป็นค่าบวก) สีน้ำเงิน (ค่า b^* เป็นค่าลบ) โดยค่า h° สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* และ b^* (McGuire, 1992)

4. การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวเปลือก

4.1 ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

สุ่มตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ข้าวเปลือก จากนั้นใช้เข็มเจาะเข้าไปในบรรจุภัณฑ์แล้วดูดตัวอย่างก๊าซปริมาณ 20 ml จากนั้นนำไปฉีดลงในเครื่อง MAP test (MAP test 3050, Englan) เพื่อวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในการเก็บตัวอย่างก๊าซจะเกิดรูขนาดเล็กที่เกิดจากการเจาะของเข็ม ดังนั้นจึงใช้เทปกาวอะลูมิเนียมขนาด $0.5 \times 0.5 \text{ cm}$ ปิดผนึก ณ รอยที่เข็มแทงเพื่อลดการรั่ว ทั้งนี้ส่วนวัสดุอะลูมิเนียมของเทปกาวอะลูมิเนียมมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านก๊าซและไอน้ำได้สูง (Robertson, 1993)

4.2 ร้อยละของการงอกของข้าวเปลือก

สุ่มเมล็ดข้าวเปลือกจากบรรจุภัณฑ์ทุกประเภท และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ จำนวน 100 เมล็ด นำกระดาษเพาะงอกขนาด $30 \times 40 \text{ cm}$ พับกระดาษเพาะงอกให้เป็น 3 ชั้น จากนั้นชุบน้ำสะอาดให้ชุ่มพอประมาณ วางกระดาษที่พับ 2 ชั้นเรียงเมล็ดข้าวลงกระดาษเพาะงอก 10 แถวๆ ละ 10 เมล็ด แบบสลับแถวกัน และมีระยะห่างแต่ละเมล็ดประมาณ 1.5 cm โดยวางเมล็ดข้าวเบี่ยงมุมขึ้นด้านบน จากนั้นปิดทับด้วยกระดาษอีกชั้นหนึ่ง พับกระดาษจาก

ด้านล่างขึ้นยาวประมาณ 1.5cm ม้วนกระดาษ จากทางด้านซ้ายไปยังด้านขวาให้ด้านที่พับริมอยู่ด้านล่าง จากนั้นทำการม้วนกระดาษเพาะเมล็ดลงในกล่องพลาสติกขนาด 19 X 28cm (กว้าง X ยาว) ปิดฝากล่องเพื่อรักษาความชื้น เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิห้องจนครบ 7 วันตรวจนับประเมินผลความงอกโดยวิธีการตรวจสอบการงอกมาตรฐานแบบ between paper (ISTA, 2008)

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณสาร gamma (γ)-aminobutyric acid (GABA)

ซึ่งตัวอย่างของข้าวฮางอก จำนวน 0.2 กรัม แล้วทำการบด เติมน้ำปริมาณ 1.8ml และเติม 3% sulfosalicylic acid ปริมาณ 200 μ l จากนั้นทำการปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 30 นาที และนำส่วนใสผสมกับ 25 mM NaHCO₃ พร้อมเติม 200 μ l dabsyl chloride (dabsyl-CL, Sigma-Aldrich, US) ผสมให้เข้ากัน นำสารละลายไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการเติม 95% ethanol (QREC) และ 25mM Phosphate buffer pH 6.8 (sodium phosphate mono basis/di-sodium phosphate) บริษัท Carlo Erba Reactifs-SOS ผสมให้เข้ากัน เมื่อแล้วเสร็จทำการกรองและนำส่วนของเหลวไปวิเคราะห์ปริมาณสาร GABA ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC บริษัทแอคเซียโซ รุ่น Agilent 1100 ประเทศอเมริกา) โดยใช้คอลัมน์ Supelcosil LC-DABS (particle size 3 μ m, L X I.D เท่ากับ 150X4.6mm) flow rate เท่ากับ 0.5ml/min mobile phase คือ isocratic 65% CH₃COONa pH 6.8:35% acetonitrile ปริมาตรที่ฉีด เท่ากับ 10 μ l อุณหภูมิคอลัมน์ เท่ากับ 55°C และ UV detector (465nm) ตามวิธีที่ได้ปรับปรุงให้มีความเหมาะสมจากวิธีของ Varanyond *et al.*, (2005)

4.4 การวัดเนื้อสัมผัสของข้าวฮางอกหุงสุก

ซึ่งตัวอย่างข้าวฮางอก 15g ลงในอะลูมิเนียมแคนเติมน้ำในอัตราข้าวต่อน้ำ (1:2) นำมาทิ้งเป็นเวลานาน 25 นาที จากนั้นพักข้าวลงจากเตาหนึ่งเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำข้าวสุกไปวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการใช้เครื่อง texture profile analysis รุ่น LLOYD instruments ประเทศอเมริกา ใช้หัวกดสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 50mm ตั้งให้ระยะห่างจากตัวอย่าง 5mm โดยใช้ความเร็วในการกด 2mm/s กดลงไปลึก 15mm และใช้ load cell ขนาด 50N และรายงานค่าความแข็งในหน่วยนิวตัน (N) ทั้งนี้วิธีการวัดได้ดัดแปลงจากวิธีที่รายงานใน Champagne (1998)

5. การวางแผนและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิจัยนี้ได้ดำเนินการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองในรูปแบบ 3X3X3 factorial in Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลองจำนวน 2 ครั้ง (duplicated experiments) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย (1) ชนิดของบรรจุภัณฑ์ (ถุง WPP, SGB และ AI/PE) (2) อุณหภูมิการเก็บรักษา (25 35 และ 45°C) และ (3) ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก (30 90 และ 180 วัน) โดยผลที่ได้จากการทดลองได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากสิ่งทดลองต่างๆด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ณ ความเชื่อมั่นที่ระดับ 95% ด้วยโปรแกรม SPSS (Version 16.0)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซ O₂ และก๊าซ CO₂ ในถุงพลาสติก SGB และถุง AI/PE ซึ่งบรรจุข้าวเปลือกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-45°C แสดงใน Figure 1 โดยความเข้มข้นของก๊าซ O₂ ลดและความเข้มข้น ก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้น เกิดจากสมดุลระหว่างการหายใจของข้าวเปลือก (Dillahunty *et al.*, 2001) และการซึมผ่านฟิล์มของก๊าซ (Robertson, 1993) ทั้งนี้ฟิล์ม SGB และ AI/PE มีสมบัติการต้านการซึมผ่านก๊าซได้สูงจึงส่งผลให้การซึมผ่านของก๊าซ O₂ จากภายนอกมายังภายในถุงเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่า การใช้ก๊าซ O₂ ในกระบวนการหายใจ ทำให้ความเข้มข้นของ ก๊าซ O₂ ในบรรจุภัณฑ์ลดลง ในขณะที่เกี่ยวกับการสะสมของก๊าซ CO₂ ในบรรจุภัณฑ์เกิดจากอัตราการซึมผ่าน

ของก๊าซ CO_2 จากภายในบรรจุภัณฑ์ไปยังบรรยากาศภายนอกเกิดขึ้นในระดับที่ต่ำกว่าอัตราการผลิต ก๊าซ CO_2 จากกระบวนการหายใจ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซในบรรจุภัณฑ์มี ดังกล่าวมีแนวโน้มที่เข้าสู่สภาวะคงที่ (steady-state) เมื่อเก็บรักษามากกว่า 90 วัน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองในถุง WPP ไม่มีความแตกต่างจากอากาศปกติ เนื่องจากก๊าซสามารถซึมผ่านบริเวณรอยสานของเส้นพลาสติกได้อย่างสะดวก (ไม่แสดงข้อมูล) จากการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บรักษา และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซในบรรจุภัณฑ์ อาจเนื่องจากบรรจุภัณฑ์ทั้งถุงพลาสติก SGB และถุง Al/PE มีความสามารถในการต้านการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำใกล้เคียงกัน

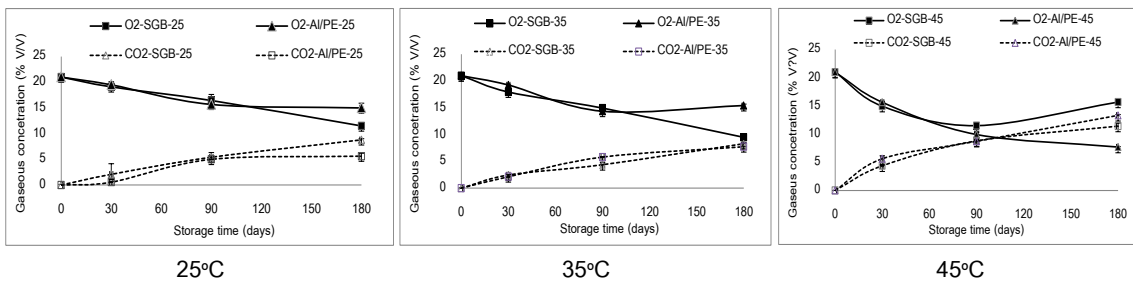


Figure 1 Changes in oxygen and carbon dioxide concentrations in SGB and Al/PE packages containing rough rice kept at 25 35 and 45°C (data represent average and standard deviation bars; $n = 4$). Solid and dotted lines represent oxygen and carbon dioxide respectively. Symbols SGB and Al/PE represent SuperGrainBag™ and Aluminum laminated bags, respectively.

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซ O_2 และก๊าซ CO_2 เกิดขึ้นในอัตราที่สูงมากเมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ 45°C (Figure 1) การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้อัตราการหายใจที่สูง เกิดการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 และมีการสะสมความร้อน Dillahunty *et al.*, (2000) ได้ศึกษาอัตราการหายใจของข้าวเปลือกสายพันธุ์ Bengal และ Cypress (ความชื้น 11-15% dry basis) พบว่า อัตราการหายใจของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มจาก 20 เป็น 50°C เมื่อพิจารณาในวันที่ 180 พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในถุง SGB (ค่าประมาณ 15% v/v) นั้นสูงกว่าค่าที่วัดได้ในถุง Al/PE (7% v/v) ความแตกต่างนี้อาจเป็นผลมาจากค่า OTR ของฟิล์ม SGB นั้นมีค่าสูงกว่าค่า OTR ของฟิล์ม Al/PE เล็กน้อย ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองในบรรจุภัณฑ์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C และ 35°C พบว่าเกิดขึ้นในอัตราต่ำกว่าที่ 45°C

2. เปอร์เซ็นต์การออกของเมล็ดข้าวเปลือก

ประเภทของบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อเปอร์เซ็นต์การออกของเมล็ดข้าวเปลือก (Table 1) เมื่อเปรียบกับเปอร์เซ็นต์การออกเริ่มต้นของข้าวเปลือกก่อนการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 79.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เปอร์เซ็นต์การออกในทุกสิ่งทดลอง ยกเว้นข้าวเปลือกที่บรรจุในถุง SGB เก็บรักษาที่ และ Al/PE เก็บรักษาที่ 45°C มีการเพิ่มขึ้นภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การออกเนื่องจากเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในสภาวะพักตัวภายหลังจากการเก็บเกี่ยว เปอร์เซ็นต์การออกในถุง WPP ที่เก็บรักษาในทุกอุณหภูมิ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษาโดยการออกอยู่ระหว่าง 95-99 เปอร์เซ็นต์ พรทิพย์ และคณะ (2553) ได้รายงานว่ เปอร์เซ็นต์การออกของเมล็ดข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) เก็บรักษาในถุงกระสอบสาน ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าที่ลดลงน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ในระหว่างการเก็บรักษา

6 เดือน โดยความแตกต่างของการงอกของข้าวเปลือกในการศึกษานี้และการศึกษาของ พรทิพย์ และคณะ (2553) อาจเป็นผลจากกระบวนการปลูกข้าวที่ต่างกัน เช่น เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก สภาพอากาศ หรือ ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาในถุง SGB และถุง AI/PE พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดได้ ความชื้นของข้าวเปลือกเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ทุกประเภทที่ 25°C และ 35°C มีค่าอยู่ในช่วง 10.55-13.39 เปอร์เซ็นต์ (dry basis) ในระหว่างการเก็บรักษา (ไม่แสดงข้อมูล) เปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือกในถุง SGB และถุง AI/PE ที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีค่าเปอร์เซ็นต์การงอกเท่ากับ 0 ในวันที่ 180 โดยเฉพาะการเก็บรักษาข้าวเปลือกในสิ่งทดลอง AI-45 พบว่าข้าวเปลือกมีเปอร์เซ็นต์การงอกเท่ากับ 0 ภายใน 30 วันหลังจากการเก็บรักษา เปอร์เซ็นต์การงอกที่ต่ำของข้าวเปลือกในสิ่งทดลอง SGB-35 และ AI-45 อาจเป็นผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกมีอัตราการหายใจสูงขึ้น และให้พลังงานความร้อนออกมา จึงนำไปสู่การสะสมของความร้อนภายในบรรจุภัณฑ์ (Song *et al.*, 2002) ในกรณีของข้าวเปลือกที่เก็บในสิ่งทดลอง AI-45 ที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกเท่ากับ 0 ในเดือนที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การงอกในสิ่งทดลอง SGB-45 ที่มีค่าเท่ากับ 74.50 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างนี้อาจเนื่องจากฟิล์มอลูมิเนียมสะท้อนความร้อน (Robertson, 1993) ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของข้าวเปลือกภายในบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนที่มากขึ้น

Table 1 Germination percentage of rough rice kept in different packages, temperature and period of storage.

Packaging	Temperature(°C)	Storage period of rough rice (day)		
		30	90	180
SGB	25	95.33±1.97 ^{f,g}	99±0.89 ^{a,b}	96.17±0.98 ^{e,f}
SGB	35	98±1.01 ^{b,c,d}	98.5±1.05 ^{a,b,c}	1.17±0.40 ^j
SGB	45	74.5±1.05 ^h	43.50±1.64 ⁱ	N/A
WPP	25	96.83±0.75 ^{d,e}	98.5±0.55 ^{abc}	95±0.89 ^g
WPP	35	99.5±0.84 ^a	99.5±0.84 ^a	96.83±1.84 ^{d,e}
WPP	45	99.5±0.55 ^a	99.67±0.52 ^a	97.17±1.75 ^{d,e}
AI/PE	25	97.5±1.05 ^{c,d}	98±1.27 ^{b,c,d}	97.17±1.17 ^{d,e}
AI/PE	35	99±0.89 ^{a,b}	97.67±0.82 ^{c,d}	N/A
AI/PE	45	N/A	N/A	N/A

Remarks: Data represent average ± standard deviation (n = 6). Means followed by different letters differ by the DMRT at 5% probability ($P < 0.05$). SGB = SuperGrainBagTM; WPP = woven polypropylene; AI/PE = aluminium laminated with PE; N/A = Not available (i.e. no germinated observed)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือกบรรจุในถุง SGB ของการศึกษานี้และผลการศึกษาของ พรทิพย์ และคณะ (2553) พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกในการศึกษานี้มีค่าที่น้อยกว่า พรทิพย์ และคณะ (2553) รายงานว่า เปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือกในถุง SGB มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา 21 เดือน (มีค่าประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของการงอกในการศึกษานี้เท่ากับ 1.17 ณ วันที่ 90 (Table 1) ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากการจัดการข้าวก่อนการนำมาบรรจุที่ต่างกัน เช่น การเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าว หรือ การปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน ซึ่งในการศึกษานี้ทำโดยการปิดผนึกด้วยความร้อน ทำให้ก๊าซเกิดการซึมผ่านผนังของถุงเท่านั้น แต่การปิดปากถุงด้วยยางรัดหรือเชือก อาจทำให้มีการถ่ายเทของก๊าซผ่านช่องว่างบริเวณที่มัดปากได้ ทำให้ในถุงอาจมีความเข้มข้นก๊าซที่ต่างกัน อย่างไรก็ตาม พรทิพย์ และคณะ (2553) ไม่ได้รายงานการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซในบรรจุภัณฑ์

3. การเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวฮางอก

ค่าความสว่าง (L^*) ของเมล็ดข้าวฮางอก มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 180 วัน ยกเว้นค่าความสว่างของข้าวฮางอกที่ผลิตจากข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในสิ่งทดลอง AI-45 เป็นระยะเวลา 90 และ 180 วัน ซึ่งพบว่ามีค่าลดลงต่ำกว่าค่าความสว่างในสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2) จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยพบว่าบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวฮางอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกในที่อุณหภูมิที่สูงและบรรจุภัณฑ์ยอมให้อากาศถ่ายเทได้น้อยมาก เช่น พลาสติก AI/PE ส่งผลให้ความสว่างของข้าวฮางอกลดลง เมื่อพิจารณาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า (25°C และ 35°C) ในทุกบรรจุภัณฑ์ พบว่า ความสว่างมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ความสว่างของเมล็ดข้าวฮางอกที่ผลิตจากข้าวเปลือกในถุง SGB และถุง WPP พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในทุกสภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

ผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a^* และค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยเฉพาะสีของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในสิ่งทดลอง AI-45 นี้มีค่าสูงกว่าประมาณ 2 เท่า (ไม่แสดงข้อมูล) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ในวันที่ 0 (ค่า a^* เท่ากับ 3.01 และ ค่า b^* เท่ากับ 26.89) ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของ h° ของทุกสิ่งทดลองมีค่าเท่ากับ 76° ซึ่งมีค่าที่ลดลงจากวันที่ 0 (มีค่าเฉลี่ยของ h° เท่ากับ 84°) การลดลงของค่า h° นั้นแสดงให้เห็นการเปลี่ยนสีของข้าวฮางเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองกลายเป็นสีเหลืองส้ม โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า h° แสดงให้เห็นว่าข้าวมีแนวโน้มการเปลี่ยนสีเป็นสีแดงที่มากขึ้นและสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า a^* ในระหว่างการเก็บรักษาผู้วิจัยสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีในลักษณะดังกล่าวได้ด้วยตาเปล่าและพบว่าสีของเมล็ดข้าวฮางอกจากสิ่งทดลอง AI-45 มีความเป็นคล้ำแดง แต่สีที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าของเมล็ดข้าวฮางอกในสิ่งทดลองอื่นๆ มีสีเหลืองนวล ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวฮางอกเมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาวะอุณหภูมิสูงและเป็นระยะเวลานานสอดคล้องกับการศึกษาของ พัสกร (2546) ที่ได้ศึกษาการเก็บรักษาข้าวเปลือก และรายงานว่า ค่าสีเหลือง (ค่า b^*) ของข้าวเปลือก (ขาวดอกมะลิ 105) ที่เก็บรักษา ณ 28°C เป็นเวลา 6 เดือน มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาที่ 10°C และ 15°C ทั้งนี้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลประเภท maillard reaction ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำตาลในเมล็ดข้าวฮางอกในรูปแบบแอมโมเนีย ปฏิกิริยานี้เกิดอย่างต่อเนื่องจนได้สาร melanoidins ที่ให้น้ำตาลเกิดขึ้น และส่งผลทำให้ข้าวมีความสว่างของลดลงและมีสีที่คล้ำมากขึ้น (Primo *et al.*, 1970)

Table 2 Lightness values (L^*) of parboiled germinated rice (PGR) processed from rough rice kept in different packages, temperature and period of storage.

Packaging	Temperature(°C)	Storage period of rough rice (day)		
		30	90	180
SGB	25	55.77±0.47 ^{f,g}	54.04±0.71 ^{g,h}	56.75±0.19 ^{b,c,d}
SGB	35	55.39±0.70 ^g	51.80±0.53 ^{i,j}	55.33±0.50 ^g
SGB	45	53.98±0.92 ^{i,j}	55.16±0.42 ^m	53.52±0.93 ^{j,k}
WPP	25	56.39±0.80 ^{d,e,f}	55.19±0.35 ^{g,h}	57.47±0.50 ^{a,b}
WPP	35	56.34±0.99 ^{d,e,f}	56.62±0.86 ^g	57.31±0.32 ^{ab,c}
WPP	45	56.26±0.68 ^{d,e,f}	55.08±0.18 ^{c,d,e}	57.63±0.23 ^a
Al/PE	25	57.03±0.43 ^{a,b,c,d}	55.13±0.77 ^{g,h}	57.61±0.59 ^a
Al/PE	35	55.68±0.90 ^{e,f,g}	53.52±0.93 ^{k,l}	54.36±0.63 ^{h,i}
Al/PE	45	55.15±0.55 ^l	48.16±0.68 ⁿ	47.88±0.64 ⁿ

Remarks: Data represent average $\pm$ standard deviation ($n = 6$). Means followed by different letters differ by the DMRT at 5% probability ($P < 0.05$). SGB = SuperGrainBag™ ; WPP = woven polypropylene; Al/PE = aluminium laminated with PE.

4. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร GABA ของข้าวฮางอก

ปริมาณสาร GABA ของข้าวฮางอกในทุกสิ่งทดลองมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการเก็บรักษา ($p < 0.05$) การลดลงของปริมาณสาร GABA ของข้าวฮางอกที่ผลิตจากข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในอุณหภูมิสูง สามารถเกิดขึ้นได้ในอัตราที่เร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($p < 0.05$) (Table 3) นอกจากนี้การลดลงของปริมาณสาร GABA ของข้าวฮางอกที่ผลิตจากข้าวเปลือกที่บรรจุในถุง Al/PE มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวฮางอกที่แปรรูปจากข้าวเปลือกซึ่งบรรจุในบรรจุภัณฑ์อื่นๆ ทั้งนี้การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถุง SGB และ Al/PE ที่อุณหภูมิ 45°C ส่งผลให้มีปริมาณสาร GABA ในข้าวฮางอกต่ำมาก โดยเฉพาะข้าวฮางอกจากข้าวเปลือกในสิ่งทดลอง AL-45 พบว่ามีค่าที่ต่ำมาก และไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง HPLC ที่ใช้ในการศึกษานี้ (Table 3) ซึ่งอาจเป็นผลจากเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือกที่ลดลงเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูง (Table 1) เพราะการงอกเป็นกระบวนการสำคัญต่อการสะสม GABA ในเมล็ดข้าว (Chung *et al*, 2009)

Table 3 GABA quantity (mg/100g; dry basis) of parboiled germinated rice (PGR) processed from rough rice kept in different packages, temperature and period of storage.

Packaging	Temperature(°C)	Storage period of rough rice (day)		
		30	90	180
SGB	25	17.77±1.39 ^{b,c}	10.30±0.67 ^{e,f}	3.17±0.96 ^{h,i,j}
SGB	35	14.75±0.71 ^d	9.36±1.12 ^{f,g}	2.38±0.51 ^{i,j,k}
SGB	45	12.82±1.01 ^e	4.10±0.19 ^h	0.99±0.31 ^{k,l}
WPP	25	17.01±2.08 ^b	10.69±0.72 ^{e,f}	2.68±0.09 ^{h,i,j}
WPP	35	14.76±0.41 ^d	10.88±1.45 ^e	2.00±0.44 ^{i,k}
WPP	45	11.61±1.61 ^{d,e}	8.66±0.74 ^g	1.43±0.18 ^{k,l}
Al/PE	25	18.70±1.58 ^a	10.17±1.58 ^{e,f}	3.75±1.08 ^{h,i}
Al/PE	35	15.16±2.35 ^{c,d}	8.33±0.90 ^g	0.26±0.03 ^l
Al/PE	45	10.64±2.18 ^{e,f}	3.40±0.86 ^{h,i,j}	N/A

Remarks: Data represent average ± standard deviation (n = 6). Means followed by different letters differ by the DMRT at 5% probability (P<0.05). SGB = SuperGrainBag™; WPP = woven polypropylene; Al/PE = aluminium laminated with PE; N/A = Not available

ทั้งนี้การเก็บรักษาข้าวเปลือกในระยะเวลาที่นานและ/หรือในสภาวะอุณหภูมิสูงทำให้การไฮโดรชั่นของข้าวลดลง (Swamy *et al.*, 1978) ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสตาร์ช และ/หรือส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน และโปรตีนในระหว่างการเก็บข้าวเปลือก (Pantindol *et al.*, 2005) และนำไปสู่การลดลงของการเกิดไฮโดรชั่น (Manthey and Xu, 2010) ดังนั้นจึงอาจคาดคะเนได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรชั่นของข้าวเปลือกมีระดับที่ลดลงในระหว่างการแช่เพื่อเพาะงอก และอาจส่งผลต่อกระบวนการผลิตสาร GABA ให้เกิดขึ้นได้ในระดับที่ต่ำ การผลิตสาร GABA เกิดจากการย่อยสลายของโปรตีนที่สะสมในข้าวในระหว่างการแช่ให้เป็นกรดกลูตามิก (glutamic acid) แล้วถูกเปลี่ยนเป็นสาร GABA โดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซีเลส (glutamic acid decarboxylase; GAD) (Mayer *et al.*, 1990) นอกจากนี้การลดลงของการเกิดไฮโดรชั่นในระหว่างการแช่อาจส่งผลต่อการย่อยสลายของโปรตีนให้เป็นเอไมด์ (amide) โดยโปรติโอไลติกเอนไซม์ (proteolytic enzyme) และเอไมด์สามารถใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญของเอมบริโอของข้าวที่งอก (Komatsuzaki *et al.*, 2007) เมื่อพิจารณา ณ วันที่ 180 ของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณสาร GABA ของข้าวฮางอกซึ่งผลิตจากข้าวเปลือกบรรจุในถุง SGB และ WPP ที่อุณหภูมิ 25°C และ 35°C มีค่าอยู่ในช่วง 2.00-3.17mg/100g (dry basis) (Table 3) ซึ่งปริมาณสาร GABA ในระดับดังกล่าวแม้ว่าจะมีค่าที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น แต่พบว่าเป็นระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณสาร GABA ของข้าวฮางอกซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.52mg/100g (dry basis) ที่รายงานโดย วรณัฐ (2552)

5. การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของข้าวฮางอกหุงสุก

เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกนานขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวฮางอกหุงสุกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 4) การเพิ่มขึ้นของความแข็งของข้าวฮางอกที่ผลิตจากการเก็บรักษาข้าวเปลือกในบรรจุภัณฑ์ AI/PE และ SGB ที่อุณหภูมิ 35 และ 45°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ โดยมีค่าสูงขึ้นประมาณ 3-3.5 เท่า (Table 4) ระดับความแข็งของข้าวฮางอกหุงสุกที่ได้จากการผลิตข้าวเปลือกซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35°C (พิจารณาในทุกบรรจุภัณฑ์) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 35°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้องที่เกษตรกรและผู้ประกอบการใช้สำหรับการเก็บข้าวเปลือก พบว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถุง WPP ส่งผลให้ข้าวฮางอกหุงสุกมีความแข็งที่น้อยกว่าข้าวฮางอกหุงสุกที่ผลิตจากข้าวเปลือกที่บรรจุในถุง SGB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การเพิ่มขึ้นของความแข็งของข้าวฮางอกหุงสุกในการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Pisitkul (2009) ที่ได้รายงานไว้ว่า ความแข็งของข้าวฮางอกหุงสุกที่ผลิตจากข้าวเปลือก (ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความชื้นประมาณ 14% dry basis) ซึ่งบรรจุในถุงกระสอบป่าน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีค่าที่เพิ่มอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา 12 เดือน

Table 4 Hardness (N) of parboiled germinated rice (PGR) processed from rough rice kept in different packages, storage temperature and period.

Packaging	Temperature(°C)	Storage period of rough rice (day)		
		30	90	180
SGB	25	25.13±1.34 ^o	27.26±0.62 ^{mn}	35.40±0.74 ^e
SGB	35	27.37±0.60 ^{lmn}	33.99±1.16 ^g	35.75±0.99 ^f
SGB	45	36.16±1.59 ^f	35.04±1.65 ^{fg}	38.78±1.71 ^e
WPP	25	24.04±0.73 ^o	27.03±1.01 ⁿ	29.85±0.43 ^{hij}
WPP	35	27.71±1.31 ^{klmn}	29.61±1.06 ^{ij}	36.11±0.50 ^f
WPP	45	28.49±0.45 ^{klm}	28.79±1.64 ^{kl}	41.10±1.85 ^d
AI/PE	25	30.31±1.74 ^{hi}	28.61±1.01 ^{klm}	37.88±0.64 ^e
AI/PE	35	28.92±1.01 ^{ijk}	39.17±1.73 ^e	46.44±1.39 ^b
AI/PE	45	31.03±0.68 ^h	42.74±1.27 ^c	47.94±0.56 ^a

Remarks: Data represent average $\pm$ standard deviation ($n = 6$). Means followed by different letters differ by the DMRT at 5% probability ($P < 0.05$). SGB = SuperGrainBag™; WPP = woven polypropylene; AI/PE = aluminium laminated with PE.

การเพิ่มขึ้นของความแข็งของข้าวฮางอกอาจเป็นผลจากการลดลงของการเกิดไฮโดรเจนและการละลายของอะไมโลส (Swamy *et al.*, 1978) หรือ การสร้างพันธะไดซัลไฟระหว่างโปรตีนและสตาร์ช (Chrastil *et al.*, 1994) ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงทำให้ข้าวฮางอกมีความแข็งที่สูงขึ้นและความเหนียวของข้าวลดลง Martin and

Fitzgerald (2002) รายงานการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับโดยข้าวในระหว่างการหุงสุกมีปริมาณลดลง จึงเป็นผลให้ข้าวมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้กรดไขมันอิสระที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของไขมันได้สร้างพันธะกับอะไมโลสส่งผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนไป ทั้งนี้ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกเก็บที่อุณหภูมิสูงสามารถเร่งการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในและทำให้การพองตัวของแป้งลดลงและเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีความแข็งมากขึ้น (Juliano, 1985)

สรุป

ผลการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกในการบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการงอกของข้าวเปลือกและคุณภาพของข้าวฮางอก ทั้งด้านคุณภาพของเมล็ดข้าวสาร (ข้าวที่กะเทาะเปลือก) ข้าวหุงสุก และปริมาณสาร GABA ดังนั้นผู้ประกอบการและกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตข้าวฮางอกจึงต้องมีการวางแผนการจัดเก็บข้าวเปลือกให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ข้าวฮางอกที่มีคุณภาพ ในการศึกษาพบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกในช่วงอุณหภูมิ 25-35°C เป็นระยะเวลาไม่เกิน 90 วัน โดยเก็บข้าวเปลือกในถุงพลาสติกสาน (WPP) เป็นสภาวะการเก็บรักษาที่ควรได้รับการนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการผลิตข้าวฮางอกต่อไป เนื่องจากข้าวฮางอกที่ผลิตได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองนวล มีปริมาณสาร GABA ที่สูง และข้าวสุกมีความนุ่มไม่แข็งกระด้าง เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการความร่วมมือเพื่อการพัฒนา ระหว่างประเทศ (สพร. หรือ TICA) ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาคูณศึกษา) ที่สนับสนุนทุนวิจัย อุปกรณ์ และเครื่องมือวิจัยต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- ปาริชาติ เข้มทอง, อารงค์ เมฆโหระ และสมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการปลูกข้าวหอมนิล ในเขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 32: 27-35.
- พัสกร เจียตระกูล. 2546. ถึงเก็บอุณหภูมิต่ำสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พรทิพย์ ถาวงศ์, สุรพล ยศเทียม และ ชาลี จิตะฐาน. 2553. ผลของการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์แบบปิดสนิทใน super bag ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว เอกสารประกอบการประชุมวิชาการกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก ประจำปี 2553 ปราจีนบุรี. 176-185.
- พลนณ อ่อนไสว. 2554. การศึกษาผลกระทบของระยะเวลาการเก็บรักษา และรูปแบบในการขัดข้าวที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณลาดกระบัง.
- วรรณุ ศรีใจภูรักษ์, จารุรัตน์ สันเต และรัชฎา ตั้งวงศ์ไชย. 2552. ผลของกระบวนการแช่ และกระบวนการงอกของข้าวกล้อง (หอมมะลิ 105) ต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวเทอริกแอซิดในข้าวกล้องงอก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 38: (พิเศษ): 103-106.
- เวียงโขง วันสะหวาง, วีระเวทย์ อุตโท, เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด และ วชิราพรพน บุญญาพิสุทธิพงศ์. 2557. ผลของกระบวนการผลิตของผู้ประกอบการขนาดย่อมต่อปริมาณ γ -amino-butyric acid ของข้าวฮางอก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 45: (พิเศษ): 185-188.
- AOAC International 1995. Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed. Arlington, VA, USA, Association of Analytical Communities.
- Chrastil, J. 1994. Stickiness of oryzenin and starch mixtures from preharvest and postharvest rice grains. J. Agric. Food Chem. 42: 2174-2151.

- Caliboso, F. M and G.C. Sabio. 1998. Hermetic storage of grains in the tropics. In: Nawa, Y., Takagi, H., and Oguchi, A. (eds.), *Postharvest Technology in Asia: a Step Forwards a Stable Supply of Food Products*. The 5th JIRCAS International Symposium, 9-10 September 1998, Japan. 59-72 p.
- Champagne, E. T and C.C Grimm. 1995. Stabilization of brown rice products using ethanol vapors as an antioxidant delivery system. *Cereal Chem.* 72: 255-258.
- Champagne, E. T. Lyon., B. G. Min., B. K. Vinyard., K. L. Bett., F. E. Bartoll., B. D. Webb., A. M. McClung., K. A. Moldenhauer, S. Linscombe., K.S. McKenzie and D. E. Kohlwey. 1998. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. *Cereal Chem.* 75: 181-186.
- Chung, H.J., S.H. Jang., H.Y. Cho and S.T. Lim. 2009. Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (γ -aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. *LWT-Food Sci. Technol.* 42:1712-1716.
- Dillahunty, 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.
- Dillahunty, A.L., T.J. Siebenmorgen., R.W. Buescher., D.E. Smith and A. Mauromoustakos. 2001. Effect of temperature, exposure duration, and moisture content on color and viscosity of rice. *Cereal Chem.* 78:559-563.
- Emekci, M., S. Navarro., J.E. Donahaye and A. Azriell. 2001. Respiration of stored product pest in hermetic conditions, pp 26-35. In: Donahaye, E. J., S. Navarro and J.G. Leesch (eds). *Proc. Int. Conf. Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products*, Fresno, CA, USA.
- ISTA. 2008. *International Rules for Seed Testing*. ISTA, Bassersdorf, CH. Switzerland.
- Juliano, B.O. 1985. Rice hull and rice straw. In *Rice Chemistry and Technology*, 2d ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA.
- Komatsuzaki, N., K. Tsukahara., H. Toyoshima., T. Suzuki., N. Shimizu and T. Kimura. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *J. Food Eng.* 78: 556-560.
- Martin, M and M. A. Fitzgerald. 2002. Proteins in rice grains influence cooking properties. *J. Cereal Sci.* 36: 285-294.
- Manthey, F. A and Y. Xu. 2010. *Glycobiology of foods: Food carbohydrates-Occurrence, production, food uses and healthful properties*. Fatih Yildiz ed. *Advances in Food Biochemistry*. CRC Press. Boca Raton. London, New York. 23-49
- Mayer, R.R., J. H. Cherry and D. Rhodes. 1990. Effects of heat shock on amino acid metabolism of cowpea cells. *Plant Physiol.* 94: 796-810.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience.* 27 : 1254-1255.
- Primo, E., C. Benedito-Barber and S. Barber. 1970. The Chemistry of rice aging. *Proceeding 5th World Cereal and Bread Congress*, Dresden, 4/59-4/68. Publishing Company Inc., Lancaster PA. 231-245.
- Pantadol, J., Wang, Y.J and J.L. Jane. 2005. Structure-functionality changes in starch following rough rice storage. *Starch/ Stärke.* 57: 197-207.
- Pisitkul, K. 2009. *Physico-chemical properties and cooking quality of freshly harvested paddy CV. Khao Dawk Mali 105 as affected by accelerated aging factors*. Chiang Mai University. 116 pp.
- Robertson, G.L. 1993. *Permeability of thermoplastic polymers*. Food Packaging: Principles and Practice. New York: Marcel Dekker.
- Swamy, I.Y.M., C.M. Sowbhagya and K.R. Bhattacharya. 1978. Changes in physicochemical properties of rice with aging. *J. Sci. Food Agric.* 29: 627-639.
- Song, Y., N. Vorsa and K. Yam. 2002. Modeling respiration-transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry. *J. Food Eng.* 53: 103-109.
- Soraya, K and P.Tongchai. 2015. Characteristics of Hang rice and its cooking. *KKU Res. J.* 20: 26-33.
- Varanyanond, W., P. Tungtrakul and V. Surojanametakul. 2005. Effects of water soaking on γ -amino butyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. *Kasetsart J. (Nat Sci).* 39: 411-415.