

Research Article

ผลของอุณหภูมิอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิดซ์เบดและสภาวะบรรจุต่อ
การชะลอการเสื่อมสภาพของข้าวเหนียวม่วงระหว่างการเก็บรักษา

The effect of fluidized bed drying temperature and packaging
condition on retarding degradation of purple waxy rice during
storage

นิตยา จันกา^{1,*}, เฉลิมชัย วงษ์อารี^{2,3}, พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย^{2,3} และชัยวัฒน์ รัตนมิชัยสกุล⁴

Nittaya Junka^{1,*}, Chalermchai Wongs-Aree^{2,3}, Panida Boonyarittthongchai^{2,3} and

Chaiwat Rattanamechaikul⁴

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

¹ Division of Crop Production Technology, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Muang, Nakhon Pathom 73000

² หลักสูตรเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วิทยาเขตบางขุนเทียน เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

² Postharvest Technology Program, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University Technology Thonburi,
Bangkuntien Campus, Bangkuntien, Bangkok 10150

³ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

³ Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Ratchathewi, Bangkok 10400

⁴ สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ อำเภอปะทิว
จังหวัดชุมพร 86160

⁴ Department of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Pathiu,
Chumphon 86160

*E-mail: nittaya717@hotmail.com

Received: 23/01/2017; Accepted: 17/05/2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการอบแห้งหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์ เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของคุณภาพด้านสี ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการก่อตัวของกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นหืนในข้าวเหนียวม่วง โดยนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่มีความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว 25%w.b. ไปทำการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไรซ์เบดแบบวงจที่อุณหภูมิสูง 100 130 และ 150°C จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ 18%w.b. จากนั้นกะเทาะเปลือกและบรรจุข้าวเหนียวม่วงน้ำหนัก 50 กรัม บรรจุลงในถุงพลาสติกสาน ถุงลามิเนต และถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจน ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิบรรยากาศเป็นระยะเวลา 90 วัน ผลการวิเคราะห์คุณภาพภายหลังการอบแห้งพบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่ควรใช้ในการอบแห้งคือ 130°C การใช้อุณหภูมิต่ำกว่าไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าว นอกจากนี้ยังทำให้กรดไขมันอิสระมีการก่อตัวลดลง อย่างไรก็ตามข้าวที่ผ่านการอบแห้งควรเก็บรักษาในถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนเนื่องจากสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของคุณภาพได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: ข้าวเหนียวม่วง, การอบแห้งหลังการเก็บเกี่ยว, บรรจุภัณฑ์, การเสื่อมสภาพ

Abstract

The objective of this research was to retard degradation in color, anthocyanin content, total phenolic content, antioxidant activity and free fatty acid content resulting in undesirable rancidity in purple waxy rice by applying post harvested drying technique and packaging. Paddy with initial moisture content of 25%w.b. was dried by a batch fluidized bed dryer with various temperatures of 100, 130 and 150°C till the moisture reduced to 18.0%w.b. The dried paddy was then dehulled and packed, 50 g/bag, in a polypropylene woven bag, laminate bag and laminated bag within and without an oxygen absorber at ambient temperature for 90 days storage. After drying process, the results revealed that the proper temperature for drying paddy was at 130°C which did not affect the postharvested quality of sample. However, the dried rice should be kept in the laminated bag containing an oxygen absorber for it was the most effective retarding rice quality degradation.

Keywords: purple waxy rice, post harvested drying, packaging, degradation

บทนำ

ข้าวเปลือกเหนียวม่วงภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจะต้องลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการบรรจุและเก็บรักษา แม้ว่าวิธีการตากแดดจะเป็นวิธีลดความชื้นที่มีต้นทุนต่ำเนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน แต่

วิธีการดังกล่าวอาจทำให้ข้าวเปลือกเกิดการเสียหายจาก แมลง นก หนู เชื้อจุลินทรีย์ และปนเปื้อนฝุ่นละออง (Esper & Mühlbauer, 1998) สาเหตุนี้กระบวนการอบแห้งด้วยเทคนิคต่าง ๆ จึงถูกเลือกเพื่อนำมาใช้แทนที่การลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด หนึ่งในเทคนิคซึ่งมีประสิทธิภาพสูงคือเทคนิคฟลูอิดซ์เบด เนื่องจากขณะที่ทำการลดความชื้นเมล็ดข้าวจะลอยตัวคล้ายของไหล การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ จึงสามารถใช้อุณหภูมิที่สูงมากกว่า 100°C ในการลดความชื้นได้ (Junka et al., 2015) เมื่อข้าวเปลือกม้วนมีความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้วจะถูกนำมาแกะเทาะเปลือกออกได้เป็นข้าวกล้องที่มีชั้นรำเป็นสีม่วง หรือข้าวเหนียวม้วนที่ประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระและแอนโทไซยานินจำนวนมาก เพื่ออบบรรจุใส่ถุงและจัดจำหน่ายต่อไป ในปัจจุบันการบรรจุข้าวเพื่อจัดจำหน่ายแบ่งได้เป็นสองแบบใหญ่ ๆ คือ แบบแรก บรรจุลงในถุงพลาสติกสานถุงละ 20 กิโลกรัม เพื่อนำมาแบ่งขายที่ตลาดท้องถิ่นระดับล่างและแบบที่สองบรรจุลงในถุงลามิเนตถุงละ 1 กิโลกรัม เพื่อรอจัดจำหน่ายที่ห้างสรรพสินค้าหรือร้านค้าระดับบน ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นคือข้าวเหนียวม้วนที่บรรจุในถุงพลาสติกสานมีการเกิดกลิ่นเหม็นหืนอย่างรวดเร็ว จากการที่ไขมันในรำข้าวเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโดยเอนไซม์ลิเพสและจากปฏิกิริยาไมโซเอนไซม์โดยออกซิเจนกลายเป็นกรดไขมันอิสระ (FFA) ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นหืน (Liu et al., 2013) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการโดยร้อนสามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ลิเพสได้ โดยความสามารถในการชะลอขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน (Jaisut et al., 2009; Kim et al., 2014) สำหรับวิธีการอื่น ๆ ที่นำมาใช้ในการลดการก่อตัวของกรดไขมันอิสระนั้น Mexis & Kontominas (2010) ได้ทำการศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ตัวดูดซับออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์เมล็ดอัลมอนต์ พบว่า สามารถช่วยในการชะลอการก่อตัวของกรดไขมันอิสระระหว่างการเก็บรักษาได้เป็นอย่างดี

ส่วนข้าวเหนียวม้วนที่บรรจุในถุงลามิเนตนั้น แม้ว่าปัญหาการเกิดกลิ่นเหม็นหืนจะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าในถุงพลาสติกสาน แต่การศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการทางความร้อนส่งผลต่อการเสื่อมสภาพปริมาณแอนโทไซยานิน โดยอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณการเสื่อมสภาพ (Patras et al., 2010) นอกเหนือไปจากปัจจัยดังกล่าวแล้ว ออกซิเจนยังเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญโดยสามารถเร่งให้แอนโทไซยานินนั้นเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ ผลของการเสื่อมสภาพดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการลดลงของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด สารต้านอนุมูลอิสระ และยังมีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์นั้นสลายตัวลง (Sarni et al., 1995; Kim et al., 2007) ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมา การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงแม้ส่งผลดีในการชะลอการทำงานของเอนไซม์ลิเพสระหว่างการเก็บรักษา แต่อาจส่งผลเสียต่อการเสื่อมสภาพของปริมาณแอนโทไซยานินภายหลังจากการอบแห้ง ในปัจจุบันข้อมูลดังที่กล่าวมายังไม่มีการทดสอบ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของการอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวม้วนด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 90 วัน โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานจริง ซึ่งเพิ่มสถานะการเก็บรักษาโดยมีตัวดูดซับออกซิเจนร่วมด้วยภายหลังจากทดสอบจะทำให้ทราบถึงสถานะการอบแห้ง และการเก็บรักษาที่เหมาะสมซึ่งจะช่วยทำให้คงคุณภาพที่ต้องการในด้านต่าง ๆ ตั้งแต่ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจนถึงมือของผู้บริโภคโดยยังคงคุณภาพไว้สูงที่สุด ข้อมูลที่ได้

จะเป็นประโยชน์และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวเหนียวม่วงที่กำลังขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุ

ตัวอย่างข้าวเหนียวม่วงสายพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดจากศูนย์วิจัยข้าวม่วง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้นำมาใช้งานวิจัยครั้งนี้ โดยตัวอย่างทั้งหมดมาจากแปลงปลูกเดียวกันซึ่งมีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์และความชื้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวที่ 25%w.b.

การอบแห้งและบรรจุ

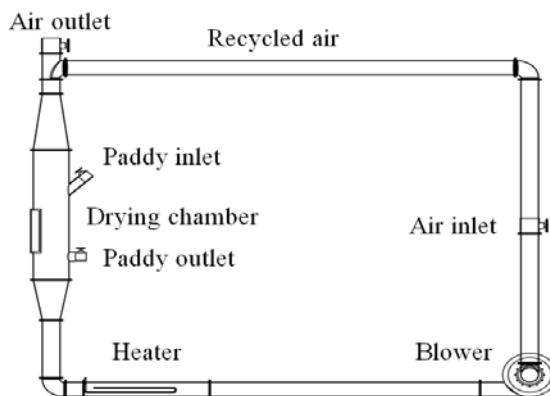
ข้าวเปลือก (ข้าวเหนียวม่วงสายพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด) ถูกลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดแบบวงด (batch) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวเครื่องยาว 270 เซนติเมตร สูง 260 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางท่อและห้องอบแห้งมีขนาด 10 และ 20 เซนติเมตร ขดลวดความร้อนขนาด 12 kW และพัดลมขนาด 1.5 kW ดังรูปที่ 1 ในกระบวนการอบแห้ง ข้าวเปลือกถูกลดความชื้นจากความชื้นหลังการเก็บเกี่ยวให้มีความชื้นลดลงเหลือ 18%w.b. อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้คือ 100°C 6 นาที 130°C 4 นาทีและ 150°C 3 นาที ตามคำแนะนำของ Soponronnarit & Prachayawarakorn (1994) เพื่อหลีกเลี่ยงความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่มากเกินไปบริเวณผิวของเมล็ดข้าวในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยแตกร้าว ที่สภาวะการอบแห้งดังกล่าวอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกมีค่า 71.9, 82.1 และ 106.0°C ตามลำดับ จากนั้นข้าวเปลือกถูกนำออกจากห้องอบแห้ง เก็บในขวดอับอากาศและใช้พัดลมเป่าด้วยอากาศแวดล้อมเป็นระยะเวลาขึ้นตอนละ 30 นาทีจนความชื้นลดลงเหลือ 10%w.b. จึงทำการกะเทาะเปลือกได้เป็นข้าวเหนียวม่วงแบ่งบรรจุใส่ถุง 3 ชนิดถุงละ 50 กรัม ได้แก่ ถุงพลาสติกสาน ถุงลามิเนตประเภท oriented polyester/linear low density polyethylene (Digital Gravure Packaging Co. Ltd., model OPET/LLDPE, Bangkok, Thailand) และถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนขนาด 10 มิลลิลิตร (Janjaras Chem Supply Co. Ltd., model S-10, Bangkok, Thailand) เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพเป็นระยะเวลา 90 วัน (ทำการวิเคราะห์คุณภาพทุก ๆ 15 วัน จำนวน 3 ซ้ำ) ในอุณหภูมิและสภาพบรรยากาศที่ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาอยู่ที่ 32.1°C และ 58.5%

การวัดสี

ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเหนียวม่วงโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta color meter (model CR 400, Tokyo, Japan) แสดงค่าสีโดยใช้ tristimulus parameters ซึ่งประกอบด้วยค่า L^* (lightness/darkness) ค่า a^* (redness/greenness) และค่า b^* (yellowness/blueness) สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งหมด (ΔE) คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\Delta E = [(L_i^* - L)^2 + [(a_i^* - a)^2 + [(b_i^* - b)^2]^{0.5}] \quad (1)$$

ค่า L_i^* , a_i^* และ b_i^* คือค่าสี่เริ่มต้นของตัวอย่างอ้างอิง (ตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้ง) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.1 9.1 และ 1.8 ตามลำดับ



รูปที่ 1. แบบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดการอบแห้งข้าวเหนียวม่วง

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินใช้เทคนิค pH differential technique ตามวิธีการของ Giusti & Wrolstad (2005) เตรียมตัวอย่างข้าวเหนียวม่วงโดยการบดให้เป็นผงด้วยเครื่อง Analytical Mill Model A11 Basic (IKA[®], Germany) จากนั้นสกัดข้าวเหนียวม่วงที่บดแล้วด้วยเมทานอลที่ผสมกรดไฮโดรคลอริก 0.01% นำตัวอย่างไปบ่มในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 38°C นาน 2 ชั่วโมง คัดแปลงวิธีการของ Rodriguez-Saona & Wrolstad (2005) ภายหลังกรองแยกกากสารสกัดข้าวเหนียวม่วงออกจากสารสกัด นำตัวอย่างของสารสกัดจากข้าวเหนียวม่วง ปริมาตร 100 ไมโครลิตรใส่หลอดทดลองที่ 1 นำไปผสมกับบัฟเฟอร์ KCl pH 1.0 ปริมาตร 900 ไมโครลิตร และหลอดทดลองที่ 2 นำไปผสมกับบัฟเฟอร์ CHOONa pH 4.5 ปริมาตร 900 ไมโครลิตรตามวิธีการของ Giusti & Wrolstad (2005) จากนั้นนำหลอดทดลองทั้ง 2 หลอด ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu, model 1800, Kyoto, Japan) ที่ $\lambda_{vis-max}$ 700 นาโนเมตร หาค่า absorbance of the diluted sample (A) ตามสมการที่ 2

$$A = (A_{\lambda_{vis-max}} - A_{700})_{pH 1.0} - (A_{\lambda_{vis-max}} - A_{700})_{pH 4.5} \quad (2)$$

ปริมาณแอนโทไซยานิน(มิลลิกรัม/ลิตร) คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{anthocyanin pigment (mg/liter)} = (A \times MW \times DF \times 1000) / (\mathcal{E} \times l) \quad (3)$$

โดยใช้ cyanidin-3-glucoside ซึ่งมี MW = 449.2 g/mol เป็นเกณฑ์

\mathcal{E} (โมลาร์แอฟฟิวดิวตี้) = 26,900 L/mol/cm

l (ความกว้างของ cuvette) = 1 cm

DF = Dilution factor ของสารละลายตัวอย่าง

รายงานผลเป็นปริมาณแอนโทไซยานินมิลลิกรัมในตัวอย่าง 100 กรัมวัตถุแห้ง (mg /100 g dry matter)

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด

ใช้วิธีการของ Swain & Hillis (1959) ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดของข้าวเหนียวม่วงโดยการนำสารสกัดที่สกัดได้ตามวิธีการของ Rodriguez-Saona & Wrolstad (2005) ปริมาตร 150 ไมโครลิตรใส่หลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 2,400 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer จากนั้นเติม folin-ciocalteu reagent ความเข้มข้น 0.25 N ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยานาน 3 นาที แล้วเติม Na_2CO_3 ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 300 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer นำไปวางในที่มืดแล้วตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง นำสารละลายตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu, model 1800, Kyoto, Japan) ที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร นำค่าที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลทั้งหมดโดยใช้ gallic acid ที่ความเข้มข้น 0.1 mg/mL เป็นกราฟมาตรฐาน และรายงานผลโดยใช้หน่วย mg-GAE (gallic acid equivalent)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้เทคนิค 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH) ตามวิธีการของ Brand-Williams et al. (1995) นำ working solution ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu, model 1800, Kyoto, Japan) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ($\text{Abs}_{\text{control}}$) จากนั้นนำไปทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการผสมกับสารสกัดข้าวเหนียวม่วงแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิบรรยากาศนาน 30 นาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ($\text{Abs}_{\text{sample}}$) ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$\% \text{ inhibition activity} = [(\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}}) / \text{Abs}_{\text{control}}] \times 100 \quad (4)$$

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีการของ American Association of Cereal Chemistry (AACC, 1995) ใช้ตัวอย่างน้ำหนัก 10 กรัม ในการเตรียมตัวอย่าง จากนั้นทำการไตเตรทด้วย 0.0178 N KOH จนกระทั่งสีของตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนนาน 1 นาที จึงทำการบันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรทและนำมาคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระดังสมการ 5

$$\text{FFA (mg/100 g dry matter)} = [(10 \times \text{mL}_{\text{titrated}}) - (\text{mL}_{\text{blank}} \times 100)] / [100 - (\text{g water in 100 g sample})] \quad (5)$$

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งหมด

ที่สภาวะเริ่มต้นค่า ΔE ของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงเก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกสาน ถูกลามิเนตและถูกลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-2.8 เมื่อข้าวเหนียวม่วงผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 100 130 และ 150°C พบว่าค่า ΔE มีค่าไม่แตกต่างจากข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงคือมีค่าอยู่ในช่วง 1.3-2.2 1.3-1.8 และ 0.8-2.1 ตามลำดับ เมื่อนำข้าวเหนียวม่วงที่บรรจุอยู่ในถุงทั้ง 3 ชนิดมาทำการเก็บรักษา พบว่าค่า ΔE ของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงเก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกสานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 7.2 เมื่อระยะเวลาการเก็บผ่านไป 30 วัน ในขณะที่ ΔE ของสภาวะถูกลามิเนตและถูกลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 4.8 และ 5.8 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 45 และ 75 วัน ดังแสดงในรูปที่ 2 (a) ส่วนผล ΔE ของข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 100°C (ไม่ได้แสดงข้อมูล) และ 130°C ให้ผลการวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกันกับข้าวเหนียวม่วงอ้างอิง โดยที่สภาวะการเก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกสานข้าวเหนียวม่วงจะมีการเพิ่มขึ้นของค่า ΔE เร็วที่สุด ถัดมาคือที่สภาวะการเก็บรักษาโดยใช้ถูกลามิเนตและที่สภาวะถูกลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ซึ่งได้กล่าวมาและของข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 150°C ที่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์จะมีการอธิบายในหัวข้อถัดไป

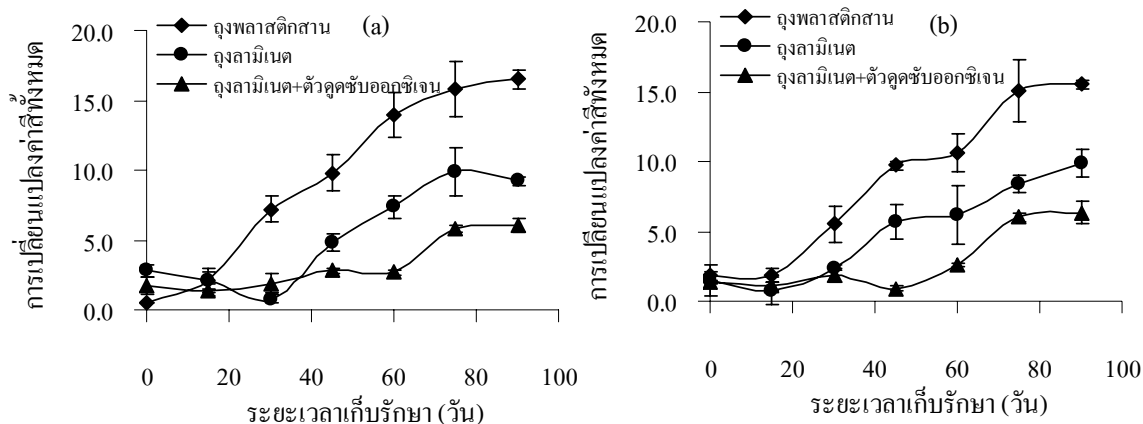
ปริมาณแอนโทไซยานิน

ปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงที่เก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกสาน ถูกลามิเนต และถูกลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนมีค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4.4 – 4.6 mg/100g dry matter เมื่อข้าวเหนียวม่วงผ่านกระบวนการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 และ 130°C ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณแอนโทไซยานิน อย่างไรก็ตามที่การอบแห้ง 150°C ปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวม่วงมีปริมาณลดลงเหลือ 3.6 – 3.9 mg/100g dry matter การลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินเกิดจากการเสื่อมสลายโดยความร้อน (Patras et al., 2010) Rubinskiene et al. (2005) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการทางความร้อนต่อองค์ประกอบของสารสีในผลองุ่นพบว่าสารสีจากแอนโทไซยานินมีความเสถียรต่อกระบวนการทางความร้อนมากที่สุดที่ 95°C ดังนั้นในการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด แม้จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น แต่ด้วยการถ่ายเทความร้อนอย่าง

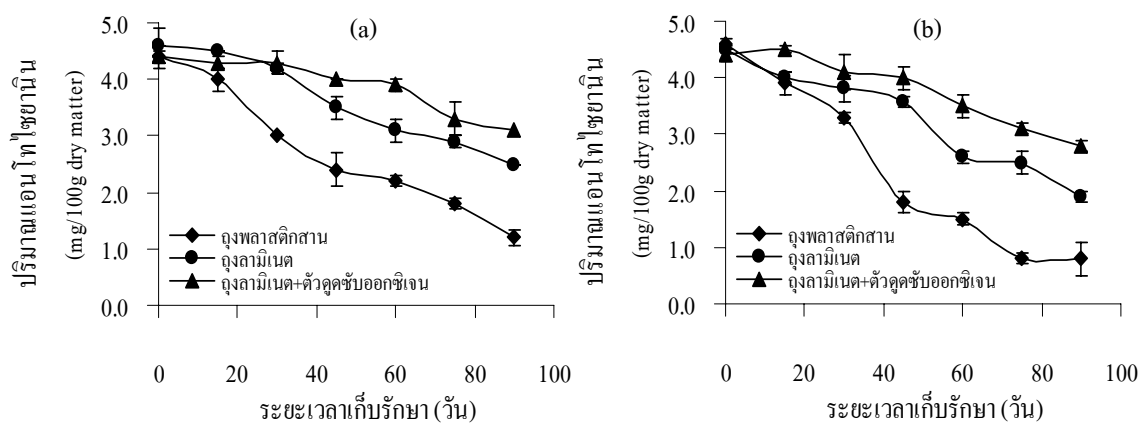
มีประสิทธิภาพจากการที่ตัวอย่างมีการลอยตัวคล้ายของไหลในห้องอบแห้ง (Mujumdar & Devahastin, 2003) จึงทำให้อุณหภูมิของเมล็ดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิการอบแห้งที่ 150°C เป็นระยะเวลา 3 นาที อุณหภูมิของเมล็ดมีอุณหภูมิเพิ่มสูงถึง 106°C ในขณะที่เมล็ดจะออกจากห้องอบแห้ง ส่งผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวม่วงภายหลังการอบที่อุณหภูมิดังกล่าวมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงและข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 100 และ 130°C ดังนั้นการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 150°C ส่งผลกระทบในด้านลบจึงทำให้ข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 150°C ไม่ได้มีการวิเคราะห์คุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาสำหรับการเปลี่ยนแปลงของสีภายหลังการผ่านกระบวนการทางความร้อนนั้น Paciuilli et al. (2016) ได้รายงานว่าการบวนการทางความร้อนส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของบิทรูท ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินในผลดังกล่าว (Patras et al., 2009) ผลการวิเคราะห์ค่า ΔE ของข้าวเหนียวม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 150°C นั้น ไม่เปลี่ยนแปลงตามการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณการลดลงของแอนโทไซยานินที่อุณหภูมิมอบแห้งดังกล่าว ไม่มากพอที่จะสามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่องวัดค่าสี

ข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงและข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 และ 130°C ถูกนำมาเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินที่สภาวะการเก็บรักษาโดยอุณหภูมิคงที่ ปริมาณแอนโทไซยานินมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 15 วันแรกของการเก็บรักษา โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงมากกว่า 20% เมื่อเก็บรักษานาน 30 วัน การลดลงดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนครบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 90 วัน ดังแสดงในรูปที่ 3(a) และ 3(b) ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวม่วงเมื่อเก็บรักษาโดยใช้ถุงลามิเนตนั้น สามารถชะลอการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจน สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 100°C ให้ผลการทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) การลดลงของแอนโทไซยานินที่สภาวะการเก็บรักษาโดยใช้ถุงพลาสติกใส่นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อข้าวเปลือกถูกกะเทาะเปลือกออก ปริมาณแอนโทไซยานินที่สะสมเป็นสารประกอบหลักอยู่ในชั้นของรำ (Min et al., 2014) จะสัมผัสกับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศโดยตรง ซึ่งออกซิเจนสามารถเร่งการเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยไม่ใช้เอนไซม์ (Ioannou et al., 2012) ดังนั้นการบรรจุข้าวเหนียวม่วงในถุงลามิเนตจึงช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ส่วนสภาวะการเก็บรักษาด้วยถุงลามิเนตนั้น ปริมาณแอนโทไซยานินมีการลดลงที่น้อยกว่าการเก็บที่สภาวะถุงพลาสติกใสเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน อย่างไรก็ตาม แม้สภาวะการเก็บรักษาด้วยถุงลามิเนตจะช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพจากการที่ข้าวเหนียวม่วงไม่ได้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศโดยตรง แต่ด้วยการศึกษาในครั้งนี้อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ เครื่องมือที่ใช้สร้างสภาวะสุญญากาศจึงมีขนาดเล็กและประสิทธิภาพในการดูดอากาศอาจยังไม่สมบูรณ์จึงทำให้เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน จึงส่งผลทำให้บางถุงมีก๊าซออกซิเจนจากภายนอกสามารถซึมเข้ามาในถุงได้เล็กน้อย ดังนั้นการใช้ตัวดูดซับออกซิเจนร่วมด้วยจึงช่วยชะลอการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินได้มากที่สุด

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าสีและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินในระหว่างการเก็บรักษาพบว่าค่า ΔE เริ่มมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณแอนโทไซยานินมีค่าลดลงมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่างเช่นที่ข้าวเหนียวอบแห้งที่ 130°C ค่า ΔE ที่สภาวะการเก็บรักษาถุงพลาสติกสานจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเป็น 5.5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน ขณะที่สภาวะการเก็บรักษาด้วยถุงลามิเนตและถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนค่า ΔE จะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเป็น 5.7 และ 6.0 ที่ 45 และ 75 วัน ที่ระยะเวลาดังกล่าวปริมาณแอนโทไซยานินมีค่าลดลง 28, 20 และ 29% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้น



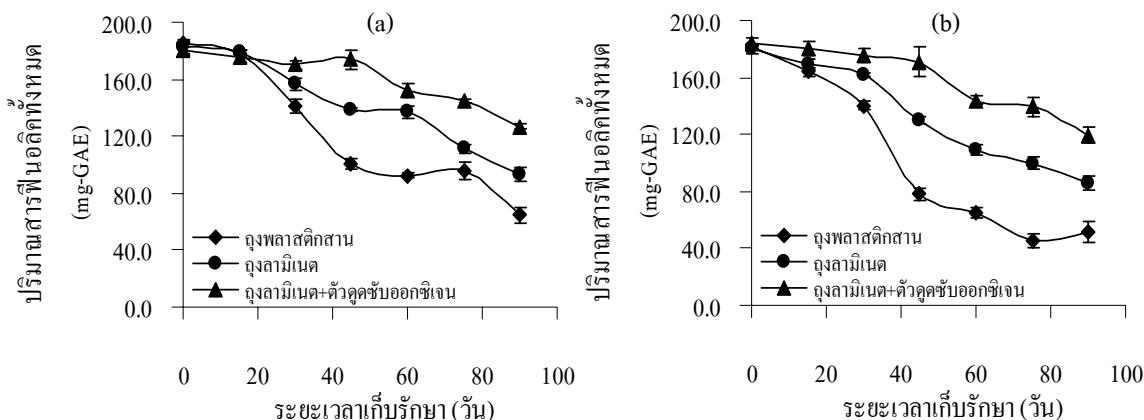
รูปที่ 2. การเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งหมดของข้าวเหนียวม่วงอ้าอึง (a) และข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 130°C (b) ระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวอ้าอึง (a) และข้าวอบแห้งที่ 130°C (b) ระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด

ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดของข้าวเหนียวม่วงมีค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 180.1-184.9 mg-GAE ข้าวเหนียวม่วงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่ 100 และ 130°C ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกับข้าวเหนียวม่วงอ้างอิง อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 150°C ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดเป็น 168.4-175.0 mg-GAE รูปที่ 4(a) และ 4(b) แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงและข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 130°C ในระหว่างการเก็บรักษา จากผลการศึกษาพบว่าทุกสภาวะการเก็บรักษาปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง การใช้ถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนสามารถชะลอการลดลงของปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดได้มากที่สุด รองลงมาคือในสภาวะการใช้ถุงลามิเนตและถุงพลาสติกสานตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานิน ทั้งภายหลังการอบแห้งและระหว่างการเก็บรักษา ความสอดคล้องกันระหว่างผลการวิเคราะห์นี้ เนื่องมาจากแอนโทไซยานินเป็นสารซึ่งเป็นอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอล (Kim et al., 2007)

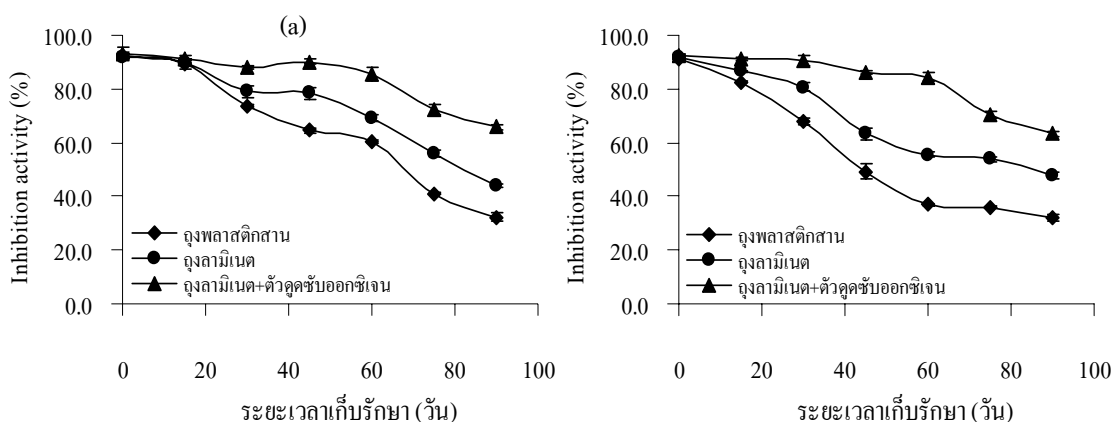


รูปที่ 4. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิง (a) และข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 130°C (b) ระหว่างการเก็บรักษา

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวม่วงแสดงโดยค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีค่าเริ่มต้นที่ 92.7-93.3% เมื่อข้าวม่วงผ่านกระบวนการอบแห้งที่ 100 130 และ 150°C เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 92.4-93.1 91.5-92.6 และ 86.5-88.2 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า กระบวนการทางความร้อนที่ 150°C ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงมากที่สุด จากรูปที่ 5 แสดง

เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวม่วงอ้าอิงและข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 130°C ในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด เนื่องจากปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะลดลงตามการลดลงของปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด (Kim et al., 2007; Patra et al., 2009; Zhang et al., 2014) ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บรักษา 90 วัน การใช้ถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนทำให้ข้าวเหนียวม่วงมีการสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด



รูปที่ 5. ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวม่วงอ้าอิง (a) และข้าวอบเหนียวม่วงแห้งที่ 130°C (b) ระหว่างการเก็บรักษา

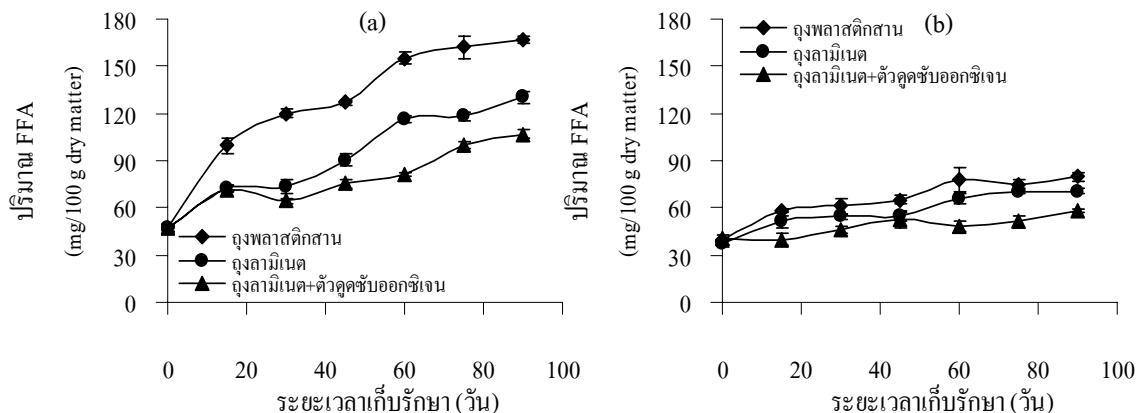
ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ข้าวเหนียวม่วงอ้าอิงเก็บรักษาด้วยถุงพลาสติกมีปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่ 46.7 mg/100 g dry matter เมื่อระยะเวลาผ่านไป 15 วัน ปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นประมาณ 2 เท่า แนวโน้มดังกล่าวยังเพิ่มมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับข้าวเหนียวม่วงที่เก็บรักษาด้วยสภาวะเดียวกันแต่ผ่านการอบแห้ง ปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มการก่อตัวที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6 ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเหนียวม่วงอ้าอิงที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมีสาเหตุจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโดยเอนไซม์ลิเพสและจากปฏิกิริยาไมใช่เอนไซม์โดยออกซิเจน (Liu et al., 2013) ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเหนียวม่วงที่ผ่านการอบแห้งมีแนวโน้มการก่อตัวที่ลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาที่ความชื้นสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิเพสได้บางส่วนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim et al. (2014) ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิเพสในรำข้าวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้

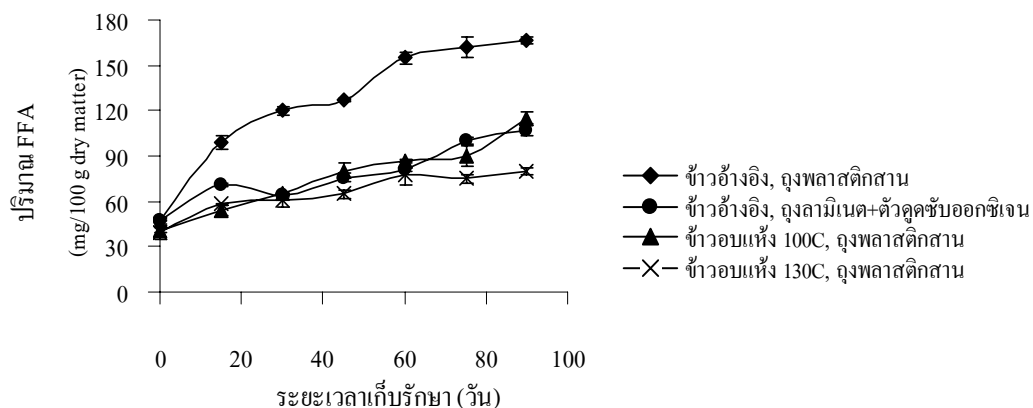
ความร้อน ในการนึ่งรำข้าวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121°C เป็นระยะเวลา 20 นาทีสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์
ลิเพสได้ ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในรำข้าวมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน

รูปที่ 6(a) และ 6(b) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันอิสระที่เก็บรักษาด้วยถุงพลาสติกสาน ถุงลามิเนต
และถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงและข้าวเหนียวม่วงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C
พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงทุกสภาวะการเก็บรักษา มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตลอดระยะเวลา
90 วัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงที่ระยะเวลาการเก็บรักษาตั้งแต่ 15 วัน การก่อดั้ว
ดังกล่าวเมื่อเก็บรักษาด้วยถุงลามิเนต มีแนวโน้มลดลงและลดลงมากที่สุดหากเก็บรักษาที่สภาวะถุงลามิเนตร่วมกับ
ตัวดูดซับออกซิเจน สำหรับข้าวเหนียวม่วงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C ปริมาณกรดไขมันอิสระ ในทุกสภาวะมี
แนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 90 วัน ปริมาณกรดไขมันอิสระที่
สภาวะถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนมีปริมาณน้อยที่สุด ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิง
ที่สภาวะการเก็บรักษาด้วยถุงลามิเนตมีแนวโน้มลดลง และลดลงมากที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนเนื่องมา
จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดถูกยับยั้งจากการที่ข้าวเหนียวม่วงไม่ได้สัมผัสกับออกซิเจนโดยตรง ส่วนออกซิเจน
บางส่วนที่ได้ซึมผ่านถุงลามิเนตจะถูกดูดซับโดยตัวดูดซับออกซิเจน อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาด้วยถุงลามิเนต
ร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนนั้นไม่ส่งผลในการยับยั้งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของลิพิด โดยมีเอนไซม์ลิเพสเป็นตัวเร่ง
ปฏิกิริยา ดังนั้นข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงแม้ถูกเก็บที่สภาวะถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนปริมาณกรดไขมัน
อิสระยังคงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Tsuzuki et al., 2014) นอกจากนี้ข้าวเหนียวม่วงที่ถูก
อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง 130°C ยังมีความจำเป็นที่ต้องเก็บตัวอย่างด้วยถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจน เนื่องจาก
เทคนิคฟลูอิดไชน์เบดมีระยะเวลาการอบแห้งที่รวดเร็ว การอบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C นาน 4 นาที ส่งผลให้อุณหภูมิ
เมล็ดข้าวในหี้ออบแห้งมีอุณหภูมิเพียง 82°C ซึ่งที่อุณหภูมิเมล็ดข้าวดังกล่าวยังไม่สูงพอต่อการยับยั้งการทำงานของ
เอนไซม์ลิเพสได้อย่างสมบูรณ์

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงที่เก็บรักษาด้วยถุงลามิเนต
ร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนและข้าวเหนียวม่วงที่ผ่านการอบแห้งและเก็บรักษาด้วยถุงพลาสติกสาน พบว่าทุกสภาวะ
มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่ระยะเวลา 90 วัน ข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงเก็บรักษาด้วยสภาวะ
ถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าข้าวเหนียวม่วงที่ผ่านการอบแห้งที่ 100°C
อย่างไรก็ตาม ข้าวเหนียวม่วงที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิสูง 130°C แม้เก็บด้วยถุงพลาสติกสาน ปริมาณกรดไขมัน
อิสระยังคงมีน้อยกว่า ข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงที่เก็บรักษาด้วยถุงลามิเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจน ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผลกระทบของกระบวนการทางความร้อนมีอิทธิพลในการลดการก่อดั้วของกรดไขมันอิสระมากกว่า
ผลกระทบของสภาวะการบรรจุ (Galliard, 1994)



รูปที่ 6. ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิง (a) และข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่ 130°C (b) ระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 7. ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเหนียวม่วงอ้างอิงและข้าวเหนียวม่วงอบแห้งที่อุณหภูมิและสภาวะการเก็บรักษาต่าง ๆ

สรุปผลการทดลอง

กระบวนการลดความชื้นที่ 130°C เป็นอุณหภูมิเหมาะสมที่ควรใช้ในการอบแห้งข้าวเหนียวม่วง เนื่องจากมีระยะเวลาในการอบแห้งที่รวดเร็ว ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านสี ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณสารฟีนอล ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังทำให้การก่อตัวของกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามข้าวเหนียวม่วงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิดังกล่าวยังมีความจำเป็นที่ต้องเก็บรักษาด้วยถุงลามีเนตร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนเพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของปริมาณแอนโทไซยานินและการก่อตัวของกรดไขมันอิสระในระหว่างการเก็บรักษา

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมและสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนอุดหนุนตลอดการวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่สำหรับข้าวเหนียวม่วงสายพันธุ์ก่ำค้อยสะเก็ดห้องปฏิบัติการอบแห้ง สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ หลักสูตรเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- AACC. (1995). *Approved Method of the American Association of Cereal Chemists* (9th ed.). Minnesota: St. Paul Publisher.
- Brand-Williams, E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Esper, A., & Mühlbauer, W. (1998). Solar drying - an effective means of food preservation. *Renewable Energy*, 15, 95-100. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00143-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00143-8)
- Galliard, T. (1994). Rancidity in cereal products. In J. Allen, & R. Hamilton (Eds.), *Rancidity in Foods* (3rd ed.) pp. 141-159. London: Blackoe Academic & Professional.
- Giusti, M. M. & Wrolstad R. E. (2005). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy, In: R. E. Wrolstad, T. E. Acree, E. A. Decker, M. H. Penner, D. S. Reid, S. J. Schwartz et al. (Eds.), *Handbook of Food Analytical Chemistry: Pigments, Colorants, Flavors, Texture, and Bioactive Food Components* pp. 19-31. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Ioannou, I., Hafsa, I., Hamdi, S., Charbonnel, C. & Ghoul, M. (2012). Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behavior. *Food Engineering*, 111(2), 208-217. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.006>
- Jaisut, D., Prachayawarakorn, S., Varayanond, W., Tungtrakul P. & Soponronnarit S. (2009). Accelerated aging of jasmine brown rice by high-temperature fluidization technique. *Food Research International*, 42, 674-681. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.011>
- Junka, N., Wongs-Aree, C., Rattanamechaiskul, C., Kanlayanarat, S., Boonyariththongchai, P. & Prom-u-thai, C. T. (2015). Effect of high-temperature fluidized bed drying on quality of 'Kum Doi Saket' variety of purple rice. *International Food Research Journal*, 22(2), 593-597.

- Kim, M. J., Hyun, J. N., Kim, J. A., Park, J. C., Kim, M. Y., Kim, J. G. et al. (2007). Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(12), 4802-4809. doi: 10.1021/jf0701943
- Kim, S. M., Chung, H. J. & Lim, S. T. (2014). Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.04.001>
- Liu, L., Waters, D. L. E., Rose, T. J., Bao, J. & King, G. J. (2013). Phospholipids in rice: significance in grain quality and health benefits a review. *Food Chemistry*, 139, 1133-1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.046>
- Mexis, S. F. & Kontominas, M. G. (2010). Effect of oxygen absorber, nitrogen flushing, packaging material oxygen transmission rate and storage conditions on quality retention of raw whole unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*). *LWT- Food Science and Technology*, 43(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.024>
- Min, B., McClung, A. & Chen, M. (2014). Effects of hydrothermal processes on antioxidants in brown, purple and red bran whole grain rice (*Oryza sativa* L.). *Food Chemistry*, 159, 106-115. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.02.164
- Mujumdar, S. & Devahastin, S. (2003). *Handbook of Fluidization and Fluid-particle Systems* pp. 469-484. New York: Taylor & Francis Group LLC.
- Paciulli, M., Medina-Meza, I. G., Chiavarom, E. & Barbosa-Cánovas G. V. (2016). Impact of thermal and high pressure processing on quality parameters of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *LWT- Food Science and Technology*, 68, 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.029>
- Patras, A., Brunton, N. P., Pieve, S. D. & Butler F. (2009). Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(3), 308-313. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.12.004>
- Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C. & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21(1), 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004>

- Rodriguez-saona, L. E. & Wrolstad, R.E. (2005). Extraction, isolation, and purification of anthocyanins, In: R. E. Wrolstad, T. E. Acree, E. A. Decker, M. H. Penner, D. S. Reid, S. J. Schwartz et al. (Eds.), *Handbook of Food Analytical Chemistry: Pigments, Colorants, Flavors, Texture, and Bioactive Food Components* pp. 7-17. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Rubinskiene, M., Viskelis, P., Jasutiene, I., Viskeliene, R. & Bobinas, C. (2005). Impact of various factors on the composition and stability of black currant anthocyanins. *Food Research International*, 38, 867-871. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.027>
- Sarni, P., Fulcrand, H., Souillol, V., Souquet, J. M. & Cheynier, V. (1995). Mechanisms of anthocyanin degradation in grape must-like model systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 69(3), 385-391. doi: 10.1002/jsfa.2740690317
- Soponronnarit, S. & Prachayawarakorn, S. (1994). Optimum strategy for fluidized bed paddy drying. *Drying Technology*, 12(7), 1667-1686. <http://dx.doi.org/10.1080/07373939408962192>
- Swain, T. & Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica* I- the quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10, 63-68.
- Tsuzuki, T., Suzuki, Y., Yamada, S., Kano, S., Ohnishi, H., Fujimoto, T. et al. (2014). Effect of oxygen absorber on accumulation of free fatty acids in brown rice and whole grain wheat during storage. *LWT- Food Science and Technology*, 58(1), 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.015>
- Zhang, Z., Diao, E., Shen, X., Ma, W., Ji, N. & Dong, H., (2014). Ozone-induced changes in phenols and antioxidant capacities of peanut skins. *Journal of Food Process Engineering*, 37(5), 506-514. doi: 10.1111/jfpe.12108