

การศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาคุณภาพข้าวเปลือก โดยใช้ลมเย็น

Study of storage temperature and storage time on paddy rice quality by use of cold air

ศิริอร แก้วพิทักษ์ อภิชาติ อัจฉนาเสียว
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาคุณภาพข้าวเปลือกหอมมะลิ โดยใช้ลมเย็น ผู้วิจัยทำการสร้างระบบเก็บรักษาคุณภาพข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องทำความเย็นขนาดเล็กขึ้นมา แล้วทำการศึกษาอุณหภูมิในการเก็บข้าวเปลือกในช่วง 25-41 °C และเวลาในการเก็บข้าวเปลือกในช่วง 0-12 เดือน โดยทุกๆ เดือน มีการทดสอบคุณภาพข้าวเปลือก คือ กลิ่นหอมมะลิ การแตกหัก และค่าสี ผลการทดสอบ พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเก็บข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ค่าความหอมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วง 25-33 °C ค่าสีเหลืองไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในช่วง 35-41 °C ค่าสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบข้าวเหลือง พบว่า เมื่อค่าสี $b > 20$ จะถือว่าเป็นข้าวเหลือง สรุปได้ว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่เกิน 33 °C สามารถเก็บข้าวได้ 12 เดือน

คำสำคัญ : ข้าวเหลือง เก็บรักษาข้าวเปลือก ข้าวหอมมะลิ ลมเย็น

Abstract

This research was a study of storage temperature and time on quality of Jasmine paddy rice by using cold air. Researchers constructed a system to retain the quality of paddy rice using a small cooler and studied the storage temperature in the range of 25-41 °C and storage time during 0-12 month. Jasmine smell, fracture and color were investigated monthly. The results showed that Jasmine smell decreased with an increase in storage temperature or storage time ($p < 0.05$). The storage temperature and storage time had insignificant effects on fracture ($p > 0.05$). The storage temperature in the range of 25-33 °C had insignificant effects on yellow color but yellow color increased with an increase in storage temperature in the range of 35-41 °C. The color of yellow rice was the value $b > 20$. When the storage temperature did not exceed 33 °C, paddy rice could be stored 12 months.

Key words: yellow rice, paddy rice storage, Jasmine rice, cold air

1. บทนำ

ปัญหาข้าวเปลือกเกิดเมล็ดเหลืองในระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกทำให้เกิดความสูญเสียเป็นมูลค่าที่สูงในแต่ละปี เนื่องจากอากาศที่มีความแปรปรวนสูงในช่วง 3-4 ปีก่อนหน้านี้ โดยผู้วิจัยประเมินจากการสอบถามผู้ประกอบการ โรงสีมากกว่า 50 สถานประกอบการ พบว่ามีความเสียหายจากสาเหตุนี้ 4% ของข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งจากข้อมูลปี 2560 ประเทศไทยมีข้าวหอมมะลิในประเทศประมาณ 10 ล้านตัน คิดเป็นความเสียหายมูลค่าโดยรวมมากกว่า 1,000 ล้านบาทต่อปี (พิจารณาจากข้อมูลข้าวเหลืองที่มีราคาต่ำกว่าข้าวเปลือกปกติ 5-7 บาทต่อกิโลกรัม) โดยลักษณะของข้าวที่เป็นข้าวเหลือง คือ เมล็ดข้าวที่บางส่วนหรือทั้งเมล็ดกลายเป็นสีเหลืองอย่างชัดเจน ซึ่งเกิดจากการเก็บไว้นานเกินไปหรือเก็บไว้ในสภาวะไม่เหมาะสม เมื่อนำไปสีแปรรูปจะได้ข้าวหักสูงและเมล็ดข้าวมีสีเหลือง การตรวจสอบทำได้โดย การดูด้วยตาหรือบดข้าว แล้วประเมินราคาข้าวเสื่อม โรงสีแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสามารถป้องกันปัญหาข้าวเปลือกเหลืองได้ โดยจัดการให้มีโกดังเก็บข้าวเปลือกจำนวน 5 โกดังแต่ละโกดังมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 20 m x 30 m x 7 m ผนังด้านข้างเป็นผนังปูน ด้านล่างของแต่ละโกดังมีท่อสำหรับจ่ายลมเย็นวางอยู่ โดยที่ท่อลมเย็นนี้มีแหล่งจ่ายความเย็นมาจากเครื่องทำความเย็นจำนวน 5 เครื่อง ซึ่งแต่ละเครื่องมีขนาด 15 HP เครื่องทำความเย็นทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิของข้าวเปลือก ไม่ให้เกิน 25 °C ซึ่งมีส่วนในการทำงานดังนี้ เมื่ออุณหภูมิข้าวเปลือกในโกดังมีอุณหภูมิมากกว่า 25 °C เครื่องทำความเย็นจะทำงานประมาณ 1-2 สัปดาห์ (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายนอก) เพื่อลดอุณหภูมิของข้าวให้ลงมาจนเหลือ 20 °C เครื่องทำความเย็นจะหยุดทำงาน ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไป ประมาณ 2-3 สัปดาห์ อุณหภูมิข้าวเปลือกในโกดังจะมีค่า สูงขึ้นจนถึง 25 °C เครื่องทำความเย็นจะทำงานอีกครั้ง ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ต้องจ่ายไปประมาณ 400,000 kW/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 1.6 ล้านบาทต่อปี (เก็บข้าวเปลือกได้ 20,000 ตัน) คิดเป็นต้นทุนในการเก็บ รักษาข้าวหอมมะลิให้มีคุณภาพประมาณ 80 บาท/ตันข้าวเปลือก ซึ่งถือว่าเป็น

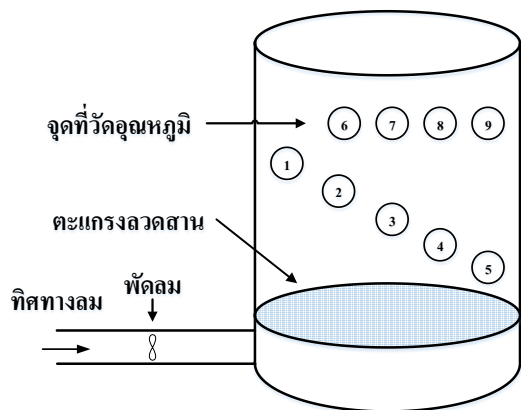
เป็นต้นทุนที่สูง จากการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างทีมวิจัยกับ ผู้ประกอบการ พบว่า ค่าอุณหภูมิข้าวเปลือกในโกดัง 25 °C ที่ เป็นจุดที่เครื่องทำความเย็นทำงาน ไม่มีแหล่งอ้างอิงที่เป็นวิชาการยืนยันว่าเป็นจุดที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพข้าวเปลือก การเพิ่มอุณหภูมิข้าวเปลือกในโกดังให้มากกว่า 25 °C โดยที่ข้าวเปลือกยังมีคุณภาพที่ยอมรับได้ จึงเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น่าสนใจ ดังนั้นทีมวิจัยจึงสร้างระบบเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องทำความเย็นขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อใช้ศึกษาหาอุณหภูมิสูงสุดในการเก็บรักษาข้าวเปลือก โดยที่ข้าวเปลือกไม่เกิดการเสื่อมสภาพ เพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นในงานจริง (ถ้าใช้ระบบจริงทำการทดสอบอาจมีความเสียหายเกิดขึ้นได้ เพราะข้าวเปลือก 20,000 ตัน มีมูลค่าสูงถึง 400 ล้านบาท)

จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า เมื่อเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้น และกลิ่นหอมลดลง (1-5) แต่เป็นการทดลองที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C และมีระยะเวลา 6 เดือนเท่านั้น ดังนั้นทีมวิจัยจึงจะศึกษาที่อุณหภูมิมากกว่า 25 °C และมีระยะเวลา 12 เดือน โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ การสร้างระบบเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องทำความเย็นขนาดเล็กก่อน จากนั้นทำส่วนที่ 2 คือ การศึกษาหาอุณหภูมิสูงสุดในการเก็บรักษาข้าวเปลือก โดยที่ข้าวเปลือกไม่เกิดการเสื่อมสภาพ เพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นในงานจริง ซึ่งส่วนนี้จะใช้เวลา 12 เดือนในการศึกษา เพราะต้องเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกกนาปีช่วงเดือนพฤศจิกายน โดยตากให้แห้งจนมีความชื้นของข้าวเปลือก 14% ก่อนนำมาเก็บในระบบเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ซึ่งจะทำการศึกษาค้นคว้า โดยใช้ช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษาในช่วง 25-41 °C แล้วทำการวัดคุณภาพด้านสี กลิ่นและการแตกหักของข้าวเปลือกทุกเดือนตลอดเวลา 12 เดือน

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

ทีมวิจัยได้ออกแบบและสร้างถัง 1 ใบขึ้นมาเพื่อทำการตรวจสอบการกระจายตัวของลมเย็น โดยการวัด

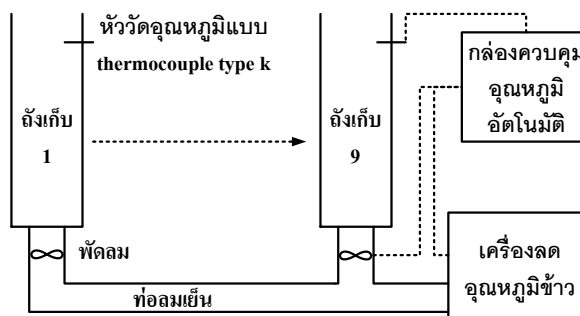
อุณหภูมิของข้าวเปลือกที่จุดต่างๆในถังด้วย thermocouple type k ดังแสดงในรูปที่ 1 ที่มีกรวัดตามแนวเฉียงของถัง จากด้านบนไปด้านล่างและตามแนวระนาบที่ระยะห่างจากผิวข้าวด้านบน 10 cm เพราะแนวระนาบด้านบนจะเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด ผลการทดสอบพบว่า อุณหภูมิของข้าวเปลือกแต่ละจุดมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1 °C จึงเลือกทำถังเก็บข้าวเปลือกแบบนี้กับถังทั้ง 9 ใบ ซึ่งเป็นถังพลาสติกบรรจุข้าวได้ 60 kg ด้านล่างที่ห่างจากก้นถัง 10 cm จะทำการวางตะแกรงลวดสานแล้วปูทับด้วยตาข่ายพลาสติกสีน้ำเงินเพื่อรองรับข้าวเปลือกและให้ลมกระจายตัวสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญเพื่อให้ข้าวเปลือกในทุกจุดของถังเก็บมีค่าอุณหภูมิเท่ากันตามกำหนด



รูปที่ 1 ถังเก็บและตำแหน่งวัดค่าอุณหภูมิทั้ง 9 จุด

ทีมวิจัยสร้างระบบเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก โดยให้มีการทำงานใกล้เคียงกับระบบจริงของโรงงานมากที่สุด ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 ที่ประกอบด้วย 1) ถังเก็บข้าวเปลือก ขนาด 120 ลิตร จำนวน 9 ใบ 2) เครื่องลดอุณหภูมิข้าวขนาด 12,000 Btu จำนวน 1 เครื่อง 3) พัดลม ขนาด 150 W จำนวน 9 เครื่อง 4) หัววัดอุณหภูมิแบบ thermocouple type k ที่วัดเฉพาะตำแหน่งที่ 3 ในแต่ละถัง จำนวน 9 หัว และ 5) ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติในถังเก็บข้าวเปลือก จำนวน 1 ชุด ซึ่งมี timer บันทึกเวลาที่พัดลมของถังเก็บข้าวแต่ละใบทำงานเพื่อหาสัดส่วนการใช้พลังงานของการเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ โดยกระบวนการทำงาน เริ่มจากการตั้งอุณหภูมิในการเก็บรักษาข้าวเปลือกแต่ละถังที่กล่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ โดยสามารถเลือกได้ตั้งแต่ 15– 45 °C

จากนั้นทำการเปิดระบบซึ่งระบบจะทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา 1 ปี ที่เก็บข้อมูล โดยกรณีที่อุณหภูมิในถังเก็บใดมีค่าเกินกว่าที่ตั้งไว้ กล่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจะสั่งให้พัดลมของถังเก็บข้าวเปลือกใบนั้นและเครื่องลดอุณหภูมิกำลังทำงาน ซึ่งหมายถึง มีการถ่ายเทความเย็นให้กับข้าวเปลือกอย่างต่อเนื่องจนกว่าอุณหภูมิข้าวเปลือกจะต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ พัดลมของถังเก็บข้าวเปลือกใบนั้นและเครื่องลดอุณหภูมิกำลังจะหยุดทำงานทันที



รูปที่ 2 ผังระบบเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ใช้สร้างขึ้น

ข้าวหอมมะลิถูกเก็บเกี่ยวจากแปลงนาเดียวกันขนาด 2 ไร่ ในจังหวัดอำนาจเจริญด้วยการใช้คนเก็บเกี่ยว ซึ่งได้ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26% มาตรฐานแห้ง (db.) จากนั้นนำมาลดความชื้นโดยการตากแดดที่ความหนาข้าวเปลือก 2 เซนติเมตร บนตะแกรงมุ้งเขียวซึ่งวางบนคอนกรีต โดยในระหว่างการตากแดดจะมีการเกลี่ยกลับกองข้าวทุก 0.5 ชั่วโมง เมื่อข้าวเปลือกมีความชื้น 14% db. จึงนำมาใส่ในถังเก็บทั้ง 9 ใบซึ่งแต่ละใบบรรจุข้าวเปลือก 60 กิโลกรัม แล้วทำการตั้งอุณหภูมิของถังแต่ละใบเท่ากับ 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39 และ 41 °C ตามลำดับ ซึ่งในระหว่างการทดสอบจะมีการเก็บตัวอย่างข้าวมาวัดคุณภาพด้านสี กลิ่น และการแตกหักของข้าวเปลือกทุกเดือน การใช้พลังงานเป็นการเปรียบเทียบกับกรเก็บที่อุณหภูมิ 25 °C โดยใช้เวลาที่พัดลมของถังเก็บข้าวแต่ละอุณหภูมิทำงานซึ่งบันทึกด้วย timer ของกล่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติพร้อมยืนยันการใช้พลังงานด้วยการวัดพลังงานต่อเนื่องด้วยเครื่อง Chauvin Arnoux รุ่น C.A.8320

คุณภาพด้านสี (2) ใช้เครื่องวัดสีสเปกโตรมิเตอร์ Minalta CR-300 เพื่อหาค่า L, a, และ b ทำการปรับมาตรฐานสีโดย ใช้แผ่นเทียบสีค่าและขาวมาตรฐาน โดย

นำตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกมาทำการกะเทาะเปลือกและขัดขาวก่อน แล้วจึงนำเมล็ดข้าวสารไปวางในตำแหน่งที่วัดค่าสี ซึ่งค่าที่อ่านได้จะเป็น L, a, และ b โดยที่ L คือ ค่าความสว่าง ค่า a เป็นค่าสีแดงหรือสีเขียว ส่วนค่า b เป็นค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ของวัสดุ กรณีค่า b เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลือง แต่ ถ้าค่า b เป็นลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

คุณภาพด้านกลิ่น (2) ทำโดยการตรวจวัดปริมาณสาร 2-acetyl-1-pyrroline หรือ 2AP ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ 1) ทำการสกัดสาร 2AP จากข้าวหอมมะลิ ซึ่งมีวิธีการดังนี้ 1.1 นำข้าวเปลือกไปสีเป็นข้าวกล้องแล้วบดก่อนนำไปร่อนด้วยตะแกรง 35 mesh 1.2 ชั่งข้าว 5 g จำนวน 3 ชุดมาใส่ขวดรูปชมพูนขนาด 125 ml 1.3 เติมน้ำ 2,4,6-trimethylpyridine ความเข้มข้น 0.25 mg/l ปริมาตร 50 ml จากนั้นคนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง 1.4 กรองเมล็ดข้าวออกแล้วเอาเฉพาะสารละลายปริมาตร 40 ml 1.5 นำสารละลายไปใส่ใน pearshaped separatory funnel ปริมาตร 125 ml แล้ว เติมน้ำ NaOH ความเข้มข้น 5 M ปริมาตร 1.2 ml 1.6 เติมน้ำ dichloromethane 50 ml 1.7 สกัด organic solvent โดยการแยกชั้นแล้วเอาสารจำนวน 90 ml มา 1.8 ทำให้สารละลายเหลือ 1 ml โดยการได้ dichloromethane โดยเครื่อง rotary evaporator ภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิ 28 °C 1.9 ใส่ขวดรูป V-shaped vial ให้สารละลายระเหยออกจนเหลือปริมาณ 0.1 ml แล้วนำมาตรวจวัดโดยเครื่อง Gas Chromatography (GC) และ 2) ทำการตรวจวัดสาร 2AP โดยใช้เครื่อง GC ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890 หัวฉีด ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7683 ในการวิเคราะห์ใช้คอลัมน์ silica capillary column รุ่น HP- 5MS ฟิล์มขนาด 30 m x 0.25 mm และความหนาเท่ากับ 0.25 um โปรแกรมเริ่มต้น อุณหภูมิที่ 45 °C ให้อุณหภูมิเพิ่มจนถึง 120 °C ในอัตรา 5 °C ต่อนาที ใช้เวลาทั้งหมด 15 นาที ตั้งอุณหภูมิที่ หัวฉีดไว้ที่อุณหภูมิ 250 °C

คุณภาพด้านการแตกหักของข้าวเปลือกใช้ตะแกรงกลมเบอร์ 7 (TRG type, Satake Co., Higashihiroshima, Japan) ที่ทำการปรับมุมเอียงของตะแกรงให้เหมาะสมในการทดสอบการแตกหักของข้าว ซึ่งมีวิธีการหา

ดังนี้ 1) สุ่มเก็บตัวอย่างของข้าวที่ออกมาจากเครื่องสีทดสอบข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพข้าวจำนวน 100 กรัม 2) ใส่ข้าวตัวอย่างลงในกรวยด้านบนของเครื่องตะแกรงกลมเบอร์ 7 แล้วทำการเปิดเครื่องเพื่อทำการคัดแยกเป็นเวลา 240 วินาที จะได้ข้าวหักอยู่บนถาดด้านบน ส่วนข้าวเต็มเมล็ดอยู่บนถาดด้านล่าง 3) นำข้าวหักบนถาดไปคำนวณการแตกหัก ตัวอย่างการคำนวณ เช่น น้ำหนักข้าวหักบนถาด = 20 กรัม น้ำหนักข้าวตัวอย่าง = 100 กรัม เปอร์เซ็นต์แตกหัก = $(20/100) \times 100 = 20 \%$

แต่ละเดือนมีการเก็บตัวอย่างมาทำการทดลอง 3 ครั้ง แล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยก่อนนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS v.16

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบคุณภาพข้าวเปลือกในแต่ละเดือนแสดงในตารางที่ 1-3 ที่พบว่า ค่าสีของข้าวที่บอกว่าเป็นข้าวเหลืองจะใช้ค่าสี b เป็นหลัก ซึ่งจากการทดสอบในงานจริง พบว่า ข้าวเปลือกที่ผู้ประกอบการระบุว่าข้าวเหลืองจะมีค่าสี $b > 20$ ซึ่งจากตารางที่ 1 จะพบว่า ค่าสีของข้าวเปลือกเริ่มต้น มีค่า L, a และ b เท่ากับ 70.2, 0.4 และ 13.8 ตามลำดับ โดยในช่วง 25-33 °C ค่าสีเหลืองไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือก แต่ในช่วง 35-41 °C เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soponronnarit et al., 2008 (6) ที่พบว่า ในการเก็บข้าวเปลือก ค่าสีเหลืองของข้าวเพิ่มขึ้นตามเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งสีของแป้งข้าวที่เข้มข้นเป็นสารประกอบสีน้ำตาลประเภทเมลานอยดิน (melanoidins) ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) โดยเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนในข้าว ซึ่งจะเกิดได้มากที่อุณหภูมิสูง (7,8) เมื่อพิจารณานิยามข้าวเหลืองที่จะต้องมีย่านค่าสี $b > 20$ ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงสุด 33 °C สามารถรักษาข้าวเปลือกได้ตลอด 12 เดือน โดยมีค่าสี b เท่ากับ 16.5 เท่านั้น

ตารางที่ 1 ค่าสีของข้าวเปลือก ที่เวลาและอุณหภูมิในการเก็บข้าวเปลือกต่างกัน

ค่าสี T (°C)	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
	เดือนที่ 1			เดือนที่ 2			เดือนที่ 3			เดือนที่ 4		
25	70.8	0.5	13.9	70.1	0.3	13.9	70.3	0.5	13.9	70.2	0.4	13.8
27	71.1	0.4	13.7	69.5	0.4	13.1	69.3	0.4	13.4	71.1	0.4	13.8
29	71.1	0.3	13.8	72.2	0.4	12.6	70.5	0.4	13.2	71.2	0.4	13.8
31	69.1	0.4	13.9	69.1	0.5	13.6	70.8	0.3	13.5	70.8	0.4	13.8
33	72.1	0.6	14.1	69.1	0.4	13.8	68.2	0.4	13.1	69.7	0.4	13.8
35	68.6	0.6	14.3	68.0	0.5	14.2	67.5	0.6	14.5	68.8	0.4	16.8
37	71.1	0.3	16.8	72.2	0.4	18.6	70.5	0.4	19.9	70.2	0.4	20.8
39	69.1	0.4	19.9	69.1	0.5	21.6	70.8	0.3	23.5	69.1	0.4	25.8
41	72.1	0.6	20.1	69.1	0.4	22.8	68.2	0.4	24.1	68.2	0.4	25.8
ค่าสี T (°C)	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
	เดือนที่ 5			เดือนที่ 6			เดือนที่ 7			เดือนที่ 8		
25	69.1	0.4	13.9	69.1	0.5	13.6	70.8	0.3	13.5	70.7	0.4	13.8
27	72.1	0.6	14.1	69.1	0.4	13.8	68.2	0.4	13.1	69.2	0.4	13.8
29	68.6	0.6	14.3	68.0	0.5	14.2	67.5	0.6	14.5	68.1	0.4	13.8
31	69.1	0.4	13.9	69.1	0.5	13.6	70.8	0.3	13.5	70.8	0.4	13.8
33	69.1	0.4	13.9	69.1	0.5	13.6	70.8	0.3	13.5	70.9	0.4	13.8
35	72.1	0.6	17.1	69.1	0.4	19.8	68.2	0.4	20.1	69.4	0.4	21.8
37	72.1	0.6	21.1	69.1	0.4	23.8	68.2	0.4	24.1	69.2	0.4	25.8
39	71.1	0.3	27.8	72.2	0.4	29.6	70.5	0.4	31.2	70.2	0.4	33.8
41	69.1	0.4	28.9	69.1	0.5	31.6	70.8	0.3	33.5	70.9	0.4	35.8
ค่าสี T (°C)	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
	เดือนที่ 9			เดือนที่ 10			เดือนที่ 11			เดือนที่ 12		
25	71.1	0.3	13.8	72.2	0.4	12.6	70.5	0.4	13.2	70.5	0.4	30.2
27	69.1	0.4	13.9	69.1	0.5	13.6	70.8	0.3	13.5	70.8	0.3	13.5
29	72.1	0.6	14.1	69.1	0.4	13.8	68.2	0.4	13.1	68.2	0.4	13.1
31	68.6	0.6	14.3	68.0	0.5	14.2	67.5	0.6	14.5	67.5	0.6	14.5
33	71.1	0.4	13.7	69.5	0.4	13.1	69.3	0.4	13.4	69.3	0.4	16.4
35	71.1	0.3	23.8	72.2	0.4	25.6	70.5	0.4	29.2	70.5	0.4	33.2
37	69.1	0.4	28.9	69.1	0.5	29.6	70.8	0.3	30.5	70.8	0.3	36.5
39	69.1	0.4	34.9	69.1	0.5	36.6	70.8	0.3	38.5	70.8	0.3	39.5
41	72.1	0.6	36.1	69.1	0.4	37.8	68.2	0.4	39.1	68.2	0.4	41.1

ตารางที่ 2 ค่ากลิ่นหอมมะลิของข้าวเปลือก ที่เวลาและอุณหภูมิในการเก็บข้าวเปลือกต่างกัน

T(°C)	กลิ่นหอมมะลิของข้าวเปลือก ที่เวลาในการเก็บข้าวเปลือกต่างกันแต่ละเดือน (ppm)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	3.98	3.95	3.91	3.90	3.82	3.74	3.61	3.52	3.39	3.21	3.08	2.91	2.74
27	3.98	3.91	3.89	3.71	3.62	3.57	3.42	3.27	3.12	3.01	2.91	2.74	2.62
29	3.98	3.84	3.86	3.72	3.63	3.50	3.30	3.12	3.02	2.89	2.67	2.45	2.33
31	3.98	3.70	3.79	3.62	3.45	3.36	3.31	3.20	2.99	2.84	2.65	2.41	2.22
33	3.98	3.65	3.72	3.55	3.31	3.02	2.84	2.51	2.31	2.13	1.99	1.85	1.63
35	3.98	3.12	3.01	2.87	2.56	2.32	2.14	1.98	1.69	1.54	1.23	1.11	1.01
37	3.98	2.98	2.62	2.35	2.16	2.02	1.89	1.70	1.52	1.28	1.12	0.95	0.72
39	3.98	2.81	2.58	2.23	2.05	1.86	1.56	1.41	1.20	1.03	0.85	0.64	0.41
41	3.98	2.45	2.25	1.96	1.64	1.32	1.01	0.89	0.67	0.53	0.50	0.41	0.29

ตารางที่ 3 ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวเปลือก ที่เวลาและอุณหภูมิในการเก็บข้าวเปลือกต่างกัน

T(°C)	เปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวเปลือก ที่เวลาในการเก็บข้าวเปลือกต่างกันแต่ละเดือน (%)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	31.2	31.1	31.0	30.9	30.9	30.9	30.8	30.7	30.6	30.6	30.6	30.5	30.5
27	31.2	31.0	31.0	31.0	30.9	30.9	30.8	30.8	30.8	30.7	30.6	30.6	30.6
29	31.2	31.0	31.0	30.9	30.9	30.9	30.8	30.8	30.8	30.8	30.7	30.7	30.7
31	31.2	31.2	31.2	31.2	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.0	31.0	30.9	30.9
33	31.2	31.1	31.1	31.1	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.9	30.8	30.7	30.6
35	31.2	31.1	31.0	30.9	30.8	30.7	30.6	30.5	30.5	30.4	30.4	30.4	30.3
37	31.2	30.9	30.9	30.8	30.8	30.7	30.7	30.7	30.6	30.5	30.4	30.4	30.3
39	31.2	30.9	30.8	30.8	30.7	30.6	30.5	30.5	30.5	30.4	30.4	30.3	30.2
41	31.2	30.8	30.7	30.6	30.5	30.4	30.4	30.3	30.2	30.2	30.1	30.1	30.0

เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเก็บข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ค่าความหอมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 เนื่องมาจากความหอมเป็นสารระเหยที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 4 ppm สามารถสลายตัวได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นหรือเก็บไว้นานขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 33 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเก็บรักษาสูงสุดที่ไม่ทำให้ข้าวเหลืองตลอดเวลาก่อนเก็บรักษา 12 เดือน มีค่ากลิ่นหอมลดลงร้อยละ 60 สูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 25 °C ที่ค่ากลิ่นหอมลดลงน้อยที่สุดร้อยละ 31 ซึ่งในวงการข้าวหอมมะลิแบ่งตลาดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มข้าวต้ม เป็นกลุ่มที่ต้องการความหอมข้าวสูง ส่วนอีกกลุ่มเป็นข้าวสวยที่ต้องการข้าวที่หุงขึ้นหม้อเป็นหลัก ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 °C จึงเหมาะสมกับกลุ่มที่ทำข้าวสวยเป็นหลัก

ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ อุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือก ดังแสดงในตารางที่ 3 เพราะการแตกหักของข้าวมีปัจจัยหลัก คือ ความสมบูรณ์ในการดูแลข้าวในแปลงนาและรูปแบบการลดความชื้นข้าวเปลือก ส่วนอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่ใช่ปัจจัยหลักที่จะส่งผลต่อการแตกหักของข้าว

การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บรักษาข้าวเปลือกใช้การเปรียบเทียบเวลาที่พัดลมของถังเก็บข้าวแต่ละอุณหภูมิทำงานกับเวลาที่พัดลมทำงานของการเก็บที่อุณหภูมิ 25 °C ซึ่งบันทึกด้วย timer ของกล่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ซึ่งพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เวลาที่พัดลมทำงานจะมีค่าน้อยลงด้วย ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานลดลง โดยที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาข้าว 33 °C ใช้พลังงานน้อยกว่าที่ 25 °C ประมาณ 55%

4. สรุป

ระบบเก็บรักษาคุณภาพข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องทำความเย็นขนาดเล็กถูกสร้างขึ้นมาแล้วทำการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการเก็บข้าวเปลือก มีการทดสอบกลิ่นหอมมะลิ การแตกหักและค่าสีทุกเดือน ผลการทดสอบ พบว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิไม่เกิน 33 °C สามารถเก็บข้าวข้าวเปลือกได้นาน 12 เดือน โดยที่ข้าวไม่เหลือง

เสื่อมสภาพ และมีการใช้พลังงานน้อยกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 25 °C ประมาณ 55%

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Kongkiattikajorn, "Effect of storage time and temperature on volatile aroma compounds and physicochemical properties of rice," In proceedings of 46th Kasetsart University annual conference: science, pp. 478-485, Bangkok, Thailand, 2008.
- [2] B. Leeraharattanakorn, "Relationship between chemical composition and the aroma compound, 2-acetylpyrroline and changes of pasting property of khao dawk mali 105 rice during storage," Master thesis in Food Technology, Graduate School, Chulalongkorn University, Thailand, 2005.
- [3] N. Dalai, "Storage and hydrothermal treatments on physical and chemical properties of milled rice and flour," Master thesis in Food Technology, Graduate School, Suranaree University of Technology, Thailand, 2010
- [4] M. Haewsung-Charern, S. Limpiti, T. Nimmasang and P. Jiatrakul, "Preserving of Hom Mali Rice Fragrance using Grain Chiling Method," research in Postharvest Technology Innovation Center, Thailand, 2001.
- [5] W. Chinsuwan, "Changes in Paddy Quality when Stored in Steel Silo," Thai society of agricultural engineering journal, Vol.13, No.1, pp.16-22, 2007.
- [6] S. Soponronnarit, M. Chiawwet, S. Prachayawarakorn, P. Tungtrakul, C. Taechapiroj, "Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice" Journal of Food Engineering, 85: 268-276, 2008
- [7] J. Chrastil, "Effect of storage on the physicochemical properties and quality factors of rice" In 'Rice Science and Technology', (W.E. Marshall and J.I.

Wadsworth,eds), MarcelDekker, New York. pp 49-81,
1994

- [8] Z. U. Rehman, “Storage effects on nutritional quality
of commonly consumed cereals” Food Chem. 95: 53-
57, 2006