การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิโดยการอบลมร้อน

อารีรัตน์ อิ่มศิลป์[1,2]* และ กิตติศักดิ์ วสันติวงศ์[1,2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิด้วยตู้อบลมร้อน ได้แก่ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิ และระยะเวลาในการอบแห้ง โดยพิจารณาจากคุณภาพการสีข้าวเป็นสำคัญ ผลการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าข้าวเปลือกหอมมะลิ คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิ และระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 21-25%, 90°C และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาว และค่าความมันเท่ากับ 60.30±0.28, 41.24±0.92, 33.36±1.47 และ 3.41± 0.15% ตามลำดับ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยวิธีเพียร์สันพบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) กับผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าว (r=0.725** และ 0.743** ตามลำดับ) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความขาวและความมันของข้าวสาร ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิในการอบแห้งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาวและความมันของข้าวสาร (r=-0.465**, -0.415**, -0.349** และ -0.211** ตามลำดับ) ระยะเวลาในการอบแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว และค่าความขาว (r=-0.401**, -0.398** และ -0.656** ตามลำดับ) (p<0.05) เช่นเดียวกับอุณหภูมิในการอบแห้ง แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความมันของข้าวสาร เมื่อพิจารณาคุณภาพข้าว พบว่าข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนมีผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับ อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของเมล็ดข้าว และค่าความแข็งของข้าวสุกสูงกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ (p<0.05) แต่มีค่าความขาวค่าความมัน ค่าการแตกตัวของแป้งสุก ปริมาณของแข็งที่สูญเสีย และค่าความเหนียวของข้าวสุกต่ำที่สุด ในขณะที่ปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกัน (p>0.05) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อน ผู้บริโภคให้การยอมรับด้านความชอบรวมไม่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติที่มีอายุการเก็บรักษานาน 6 เดือน (p>0.05)

คำสำคัญ: ข้าวเก่า ข้าวใหม่ การเร่งความเก่าของข้าวหอมมะลิ

[1] อาจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
[2] อาจารย์ โครงการโรงสีข้าว สำนักกิจการพิเศษ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-1151-4990 อีเมลww: areerat_ims@dusit.ac.th

รับเมื่อ 17 กรกฎาคม 2555 ตอบรับเมื่อ 18 ตุลาคม 2555

Study on the Optimum Accelerated Aging of Hom Mali Paddy Rice Using Hot Air Oven

Areerat Imsil[1,2]* and Kittisak Wasantiwong[1,2]

Abstract

The purpose of this study was to determine the optimization of accelerated aging treatment of Hom Mali paddy rice by hot air oven drying: initial moisture content of paddy rice, temperature of drying air and drying time duration. The maximization of milling quality was a major concerned to determine the optimization of accelerated aging treatment of Hom Mali paddy rice. The results showed that the best performance was obtained for accelerated aging treatment when initial moisture content of paddy rice, temperature drying air and drying time duration were 21-25%, 90°C, and 3 hours, respectively. Total rice yield, head rice yield, whiteness and transparency value were 60.30±0.28, 41.24±0.92, 33.36±1.47, and 3.41± 0.15%, respectively. The Pearson correlation analysis among these variables showed that the initial moisture content of paddy rice exhibited positive correlation coefficient (p<0.01) with the total rice yield and head rice (r=0.725** and 0.743** with p<0.01) but it were not correlated with whiteness and transparency value of milled rice. On the other hand, temperature drying air showed negative correlation coefficient with the total rice yield, head rice yield, whiteness and transparency value of milled rice (r=-0.465**, -0.415**, -0.349** and -0.211**, respectively). Similar results to drying time duration, it showed negative correlation coefficient (p<0.01) with the total rice yield, head rice yield, and whiteness value (r=-0.401**, -0.398** and -0.656**, respectively) but it were not correlated with transparency value of milled rice. Comparison for rice quality, the total rice yield, head rice yield, water uptake, and width to length ratio and hardness of cooked rice of Hom Mali rice's accelerated aging treatment were significantly higher than natural aged rice for 6 months, freshly harvested for 3 months and not more than 1 month, respectively (p<0.05). On the other hand, whiteness value, transparency value, breakdown viscosity, solid loss, and stickiness of cooked rice was the lowest. However, the apparent amylose content of Hom Mali rice's accelerated aging treatment were significantly indifferent from other Hom Mali rices stored for 6, 3 months and not more than 1 month, respectively (p>0.05). Furthermore, the results also found that the sensory evaluation revealed that the consumer acceptability in overall preference was significantly indifferent between Hom Mali rice's accelerated aging treatment and natural aged rice for 6 months (p>0.05).

Keywords: Aged Rice, Freshly Rice, Accelerated Aging of Rice, Hom Mali Rice

1 Lecturer, School of Culinary Arts, Suan Dusit Rajabhat University.

2 Lecturer, Suan Dusit Rice Mill Co., Ltd, Suan Dusit Rajabhat University.

* Corresponding Author, Tel. 08-1151-4990, E-mail: areerat_ims@dusit.ac.th

Received 17 July 2012; Accepted 18 October 2012

1. บทนำ

ข้าวเก่า (Aged Rice) คือข้าวเปลือกหรือข้าวสารที่มีอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 4 เดือน [1] ซึ่งมีความสำคัญและมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงเนื่องจากมีราคาสูงกว่าข้าวใหม่ถึง 2.50 บาทต่อกิโลกรัม อีกทั้งคนไทยยังนิยมบริโภคข้าวเก่ามากกว่าข้าวใหม่ [2] นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารจากข้าว เช่น ขนมจีน เส้นก๋วยเตี๋ยว แป้งดัดแปร ยังนิยมใช้วัตถุดิบข้าวเก่ามากกว่าข้าวใหม่ เนื่องจากข้าวเก่ามีคุณสมบัติในการคืนรูปสูงกว่าข้าวใหม่ [3] จากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้การใช้วัตถุดิบข้าวเก่ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าเกิดขึ้นตั้งแต่การเก็บเกี่ยวจนถึงขั้นตอนการเก็บรักษาและส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical Properties) ของข้าวเปลี่ยนแปลง อาทิเช่น การดูดซับน้ำ (Hydration) การพองตัว (Swelling) ความสามารถในการละลาย (Solubility) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหอมลดลง แต่การเก็บรักษาข้าวนาน 3-4 เดือน เพื่อให้สตาร์ชในเมล็ดข้าวเปลี่ยนสมบัติทางเคมีกายภาพจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่านั้นก่อให้เกิดความเสียหายในเชิงปริมาณและคุณภาพ ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา คุณภาพข้าวลดลงจากการทำลายของมอด แมลง และการหายใจของเมล็ดข้าวทำให้เมล็ดข้าวมีสีเหลืองคล้ำ กลิ่นหอมและผลผลิตต้นข้าวลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการบริหารจัดการดังกล่าว จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตข้าวเก่าสูงตามไปด้วย [3],[4]

เทคนิคที่นิยมใช้ในการพัฒนาข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าส่วนใหญ่จะใช้ลมร้อน (Hot Air) ความร้อนชื้น (Moist Heat) เช่น การทำข้าวนึ่งบางส่วน (Partial Parboiled Rice) หรือการประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized Bed) อบแห้งข้าวเปลือกเพื่อเปลี่ยนข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า [3],[5] แต่เทคนิคเหล่านี้มีข้อจำกัดด้านต้นทุนการผลิต เช่น การเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำเสียหลังจากการทำข้าวนึ่งบางส่วน เครื่องจักรอุปกรณ์มีราคาแพง ตลอดจนต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญในการควบคุมกระบวนการผลิต [3] อย่างไรก็ตามการใช้ลมร้อน (Hot Air) ในการอบแห้งเพื่อเร่งความเก่าของข้าวเปลือกเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมสูง ต้นทุนต่ำ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคนิคอื่นๆ ได้อีกด้วย เช่น การอบแห้งแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า (Circulating Mixed Flow Technique) และเทคนิคฟลูอิไดซ์เบด เป็นต้น [4] จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น คณะวิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการอบแห้งด้วยลมร้อนเพื่อเร่งความเก่าของข้าวเปลือก โดยศึกษาเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกเก่าตามธรรมชาติในด้านคุณภาพการขัดสี (Milling Quality) คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (Cooking and Eating Quality) เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลคลุกเคล้าหรือเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดเพื่อเร่งความเก่าของข้าวเปลือกในเชิงธุรกิจของโรงสีข้าว ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการโรงสีข้าวและเศรษฐกิจของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การรวบรวมตัวอย่างข้าวเปลือก

ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ ปีการเพาะปลูก 2554/55 ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13.4% นำมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น เศษฟาง เมล็ดหญ้า และข้าวเมล็ดลีบ จากนั้นบรรจุใส่กระสอบสานพลาสติก เก็บรักษาในที่แห้งปราศจากความชื้น

2.2 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือก

ตัวอย่างข้าวเปลือกที่นำมาใช้ในการวิจัยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) ข้าวเปลือกใหม่ หมายถึง ข้าวเปลือกที่ผ่านการทำความสะอาด มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 1 และ 3 เดือน บรรจุใส่กระสอบสานพลาสติก 2) ข้าวเปลือกเก่าตามธรรมชาติ หมายถึง ข้าวเปลือกที่ผ่านการทำความสะอาด มีอายุหลังการเก็บเกี่ยว

6 เดือน บรรจุใส่กระสอบสานพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28°C) และ 3) ข้าวเปลือกที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อน เตรียมได้โดยนำข้าวเปลือกใหม่ที่มีความชื้นเริ่มต้น 13.4% มาชั่งน้ำหนัก จำนวน 5 กิโลกรัม และปรับปริมาณความชื้นเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 13-17%, 18-20% และ 21-25% ด้วยการนำข้าวเปลือกมาใส่ถาดอลูมิเนียม ขนาด 45x60 เซนติเมตร ให้ชั้นของข้าวเปลือกมีความหนา 3 เซนติเมตร จากนั้นสเปรย์น้ำลงบนข้าวเปลือกให้ทั่วและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 16 ชั่วโมง วัดความชื้นทุก 1 ชั่วโมง จนตัวอย่างข้าวเปลือกมีความชื้นตามที่ต้องการทั้ง 3 ระดับ

จากนั้นนำตัวอย่างข้าวเปลือกแต่ละตัวอย่างที่มีความชื้นแตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ จำนวน 1,000 กรัม มาบรรจุใส่กระป๋องเคลือบอลูมิไนท์สีเงินและแลคเกอร์ ขนาด 307x409 ปิดฝากระป๋อง จากนั้นนำข้าวเปลือกที่บรรจุในกระป๋องปิดผนึกไปอบแห้งเพื่อเร่งความเก่าของข้าวด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90, 100 และ 110°C นาน 3, 5, 7 และ 9 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการอบในแต่ละระดับอุณหภูมิ นำกระป๋องข้าวออกจากตู้อบ เปิดฝากระป๋องเทข้าวเปลือกออกแผ่เป็นชั้นบาง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกแต่ละกระป๋องเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการเร่งความเก่าแต่ละสภาวะมาวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่างๆ เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือก โดยพิจารณาจากคุณภาพการสี ได้แก่ ผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ความขาว และความมันของข้าวสารเป็นสำคัญ

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น [6] ปริมาณแอมิโลส [7] และความหนืดของน้ำแป้ง [8] วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกด้วยวิธี Back Extrusion [9] ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i) เพื่อวัดความแข็งและความเหนียวของข้าวสุก โดยบรรจุข้าวสุกจำนวน 15 กรัม ลงใน Test Cell รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ใช้หัววัดแผ่นขนานรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ซึ่งต่อกับ Load Cell ของเครื่อง ความเร็วของหัววัดที่เคลื่อนที่ลงมาก่อนสัมผัสข้าวสุก (Pre-test Speed) 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วของหัววัดขณะเคลื่อนที่ลงในเนื้อข้าวสุก (Test Speed) 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วของหัววัดขณะเคลื่อนที่ขึ้นจากข้าวสุก (Post-test Speed) 10 มิลลิเมตร/วินาที และระยะทางที่หัววัด เคลื่อนที่ลงในเนื้อข้าวสุกเท่ากับ 50% (50% Strain)

การวัดค่าความขาวและความเลื่อมมันของข้าวสารทำได้โดยนำข้าวสารที่ได้จากการกะเทาะเปลือกมาวัดความขาวและความเลื่อมมันด้วยเครื่องวัดระดับการขัดสี (Satake รุ่น MMIC) ในขั้นแรกทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องก่อนการวัด จากนั้นจึงนำข้าวสารใส่ถ้วยจนเต็ม ปิดฝา อ่านค่าที่ได้จากเครื่อง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ [4]

สำหรับการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าว นำข้าวที่ผ่านการเร่งความเก่า ข้าวใหม่ และข้าวเก่าตามธรรมชาติมาหุงด้วยหม้อหุงข้าวอัตโนมัติด้วยอัตราส่วนข้าวสารต่อน้ำเท่ากับ 1:1.5, 1:1.2 และ 1:1.5 ตามลำดับ จากนั้นนำข้าวสุกที่ผ่านการเร่งความเก่ามาทดสอบชิมเปรียบเทียบกับข้าวใหม่และข้าวเก่าตามธรรมชาติ ใช้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 30 คน ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Scoring Test โดยให้ผู้ทดสอบชิมประเมินคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นหอม ความแข็ง ความเหนียว และความชอบรวม ตัวอย่างข้าวสุกที่ใช้ทดสอบชิมควรมีอุณหภูมิประมาณ 40-45°C [10]

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือก วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Block Design (CBD) ขนาด 3x3x4 โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเร่งความเก่าของข้าวเปลือก 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 3 ระดับ คือ 13-17, 18-20 และ 21-25% ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบข้าว 3 ระดับ คือ 90, 100 และ 110°C และปัจจัยที่ 3 ระยะเวลาที่ใช้

ในการอบ 4 ระดับ คือ 3, 5, 7 และ 9 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลการวิจัย

3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิด้วยตู้อบลมร้อน

การทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิ จะพิจารณาจากคุณภาพการสี เนื่องจากผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าวมีผลต่อต้นทุนการผลิต ส่วนความขาวและความเลื่อมมันเป็นลักษณะปรากฏของข้าวซึ่งเป็นดัชนีสำคัญในการประเมินคุณภาพทางกายภาพในการซื้อขายเป็นอันดับแรก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าข้าวเปลือกหอมมะลิที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง (21-25%) เมื่อนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 90, 100 และ 110°C ที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ กันนั้นจะมีปริมาณผลผลิตข้าวรวมสูงกว่าข้าวเปลือกหอมมะลิที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 18-20 และ 13-17% ตามลำดับ Kunze and Calderwood [11] พบว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจะมีความยืดหยุ่นและมีความต้านทานต่อการเกิดเกรเดียนท์ของความชื้น (Gradient Moisture) ได้สูงกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำ การอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจึงทำให้ได้ปริมาณ ผลผลิตข้าวรวมสูงด้วย เนื่องจากการเกิดเกรเดียนท์ของความชื้นภายในเมล็ดข้าวต่ำนั่นเอง

อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อปริมาณผลผลิตข้าวรวม เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกและระยะเวลาในการอบแห้งเดียวกัน พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 90°C นั้น ปริมาณผลผลิตข้าวรวมมีแนวโน้มสูงกว่าข้าวเปลือกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 และ 110°C ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้บริเวณพื้นผิวของเมล็ดข้าวสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างแรงดึงและความเค้นบีบอัด (Compressive Stress) จากการเกิดเกรเดียนท์ความชื้นภายในเมล็ดข้าวระหว่างบริเวณพื้นผิวและจุดกึ่งกลางของเมล็ดข้าว ส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวและมีข้าวหักเพิ่มสูงในระหว่างการขัดสี [12]

ระยะเวลาในการอบแห้งก็มีผลต่อปริมาณผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าวเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวรวมและต้นข้าวลดลง เนื่องจากเมล็ดข้าวจะสูญเสียความชื้นสูงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น จึงทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวและแตกหักง่ายในระหว่างการขัดสี นอกจากนี้ปริมาณความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิในการอบแห้งและเวลาในการอบแห้งยังมีผลต่อค่าความขาวและความเลื่อมมันของข้าว โดยพบว่าข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำเมื่อนำมาอบแห้งจะมีค่าความขาวและค่าความเลื่อมมันน้อยกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง และการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงนาน 9 ชั่วโมง เมล็ดข้าวสารจะมีสีเหลือง ซึ่งอาจเกิดจากข้าวได้รับความร้อนนานเกินไปในระหว่างการอบแห้ง โดยความร้อนจะทำให้การยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลภายในน้ำตาลหลุดออกจากกัน กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลต่ำและเกิดเป็นสารประกอบคีโตน (Ketone) ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวมีสีเหลือง [4]

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิ คือ ข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 21-25% อุณหภูมิในการอบแห้ง 90°C และระยะเวลาในการอบแห้งนาน 3 ชั่วโมง เนื่องจากให้ปริมาณผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาว และค่าความเลื่อมมันสูงกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกหอมมะลิในสภาวะอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 60.30 ± 0.28, 41.24 ± 0.92, 33.36 ± 1.47 และ 3.41 ± 0.15% ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลของปริมาณความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพการสีของข้าวเปลือกหอมมะลิเมื่อผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

ความชื้นเริ่มต้น (%)	อุณหภูมิในการอบแห้ง (°C)	เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	คุณภาพการสี			
			ผลผลิตข้าวรวม (%)	ผลผลิตต้นข้าว (%)	ค่าความขาว (%)	ค่าความมัน (%)
13-17	90	3	54.65 ± 0.11	34.60 ± 0.11	31.06 ± 0.57	2.85 ± 0.25
(*n*=36)		5	52.72 ± 0.18	32.83 ± 0.51	34.16 ± 1.20	2.80 ± 0.40
		7	50.46 ± 0.21	30.47 ± 0.15	30.43 ± 0.47	2.92 ± 0.23
		9	47.50 ± 0.43	27.74 ± 0.42	29.90 ± 1.08	2.86 ± 0.09
	100	3	49.60 ± 0.45	29.61 ± 0.29	32.43 ± 1.55	2.57 ± 0.50
		5	48.53 ± 0.29	28.51 ± 0.19	30.73 ± 0.50	2.46 ± 0.61
		7	46.61 ± 0.44	26.38 ± 0.06	27.96 ± 0.47	2.74 ± 0.42
		9	45.79 ± 0.08	25.28 ± 0.95	28.43 ± 1.19	2.29 ± 0.51
	110	3	46.57 ± 0.40	26.48 ± 0.16	31.93 ± 0.45	3.10 ± 0.30
		5	45.66 ± 0.20	25.47 ± 0.15	28.20 ± 0.55	2.79 ± 0.19
		7	43.58 ± 0.36	23.45 ± 0.12	28.40 ± 1.00	2.29 ± 0.12
		9	40.21 ± 0.33	20.72 ± 0.39	28.33 ± 1.53	2.72 ± 0.25
18-20	90	3	57.74 ± 0.20	37.80 ± 0.47	32.76 ± 1.51	2.79 ± 0.42
(*n*=36)		5	56.73 ± 0.23	36.57 ± 0.24	30.63 ± 0.35	2.77 ± 0.38
		7	54.48 ± 0.40	35.35 ± 0.02	30.83 ± 0.51	2.99 ± 0.06
		9	53.54 ± 0.21	33.34 ± 0.02	29.83 ± 1.42	2.85 ± 0.19
	100	3	56.69 ± 0.46	36.71 ± 0.39	31.50 ± 0.20	2.57 ± 0.69
		5	55.53 ± 0.31	35.56 ± 0.24	30.60 ± 0.62	2.42 ± 0.60
		7	54.11 ± 1.54	34.61 ± 0.29	28.96 ± 1.06	2.88 ± 0.27
		9	52.66 ± 0.32	33.25 ± 0.93	28.53 ± 1.23	2.35 ± 0.49
	110	3	54.16 ± 0.06	35.68 ± 0.36	31.20 ± 0.17	2.86 ± 0.45
		5	53.77 ± 0.35	34.76 ± 0.44	28.23 ± 0.55	2.92 ± 0.19
		7	51.29 ± 0.37	31.30 ± 0.98	27.36 ± 1.75	2.40 ± 0.19
		9	49.27 ± 0.30	29.59 ± 0.27	27.30 ± 3.86	2.60 ± 0.80
21-25	**90**	**3**	**60.30 ± 0.28**	**41.24 ± 0.92**	**33.36 ± 1.47**	**3.41 ± 0.15**
(*n*=36)		5	58.63 ± 0.27	38.24 ± 0.92	32.72 ± 0.54	2.98 ± 0.27
		7	57.61 ± 0.37	37.47 ± 0.15	30.63 ± 0.50	3.15 ± 0.23
		9	56.55 ± 0.38	35.37 ± 0.05	25.40 ± 1.17	2.98 ± 0.15
	100	3	58.69 ± 0.21	38.59 ± 0.27	33.43 ± 1.59	2.32 ± 0.85
		5	57.37 ± 0.23	37.55 ± 0.23	30.26 ± 0.15	2.87 ± 0.07
		7	55.44 ± 0.33	35.33 ± 0.01	30.43 ± 0.20	3.07 ± 0.57
		9	53.55 ± 0.43	33.67 ± 0.34	29.36 ± 1.51	2.45 ± 0.67
	110	3	55.69 ± 0.25	35.55 ± 0.23	31.43 ± 0.68	3.07 ± 0.20
		5	54.13 ± 0.09	34.69 ± 0.37	28.60 ± 0.60	2.95 ± 0.10
		7	52.39 ± 0.39	33.35 ± 0.02	28.80 ± 0.30	2.54 ± 0.02
		9	50.67 ± 0.22	32.77 ± 0.45	27.53 ± 0.65	2.56 ± 0.05

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันของข้าวเปลือกหอมมะลิที่ผ่านการอบแห้งเพื่อเร่งความเก่าในสภาวะต่างๆ (n=80)

	ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก	อุณหภูมิในการอบแห้ง	ระยะเวลาในการอบแห้ง	ผลผลิตข้าวรวม	ผลผลิตต้นข้าว	ค่าความขาว	ค่าความมัน
ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก	1						
อุณหภูมิในการอบแห้ง	0.000	1					
ระยะเวลาในการอบแห้ง	0.000	0.000	1				
ผลผลิตข้าวรวม	0.725**	-0.465**	-0.401**	1			
ผลผลิตต้นข้าว	0.743**	-0.415**	-0.398**	0.988**	1		
ค่าความขาว	0.044	-0.349**	-0.656**	0.414**	0.401**	1	
ค่าความมัน	0.163	-0.211**	-0.170	0.247**	0.243*	0241*	1

** สหสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.001 (2-tailed)
* สหสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (2-tailed)

3.2 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิ ระยะเวลาในการอบแห้งกับผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาว และค่าความเลื่อมมันของข้าวเปลือกหอมมะลิ

จากตารางที่ 1 พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกมีผลต่อผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาวและค่าความเลื่อมมันของข้าวสารที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ นั้น เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ด้วยวิธีเพียร์สัน (Pearson) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าว (r = 0.725*** และ 0.743*** ตามลำดับ) นั่นหมายความว่าถ้าปริมาณความชื้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตข้าวรวมและต้นข้าวเพิ่มขึ้นด้วย แต่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความขาวและค่าความเลื่อมมันของข้าวสาร ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิในการอบแห้งให้ค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ในทางลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาว และค่าความเลื่อมมันของข้าวสาร (r = -0.465**, -0.415**, -0.349** และ -0.211** ตามลำดับ) แสดงว่าอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกเพิ่มสูงขึ้น จะมีผลทำให้ผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาว และค่าความเลื่อมมันของข้าวสารลดลง

ระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกหอมมะลิจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาว (r=-0.401**, -0.398** และ -0.656** ตามลำดับ) แสดงว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกหอมมะลินานขึ้นจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว และค่าความขาวของข้าวสารลดลง แต่ระยะเวลาในการอบแห้งไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความมันของข้าวสาร ดังนั้น ปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องควบคุมให้เหมาะสมในการนำประยุกต์ใช้เร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิ

3.3 คุณภาพข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิใหม่และข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติ

3.3.1 คุณภาพการสี

คุณภาพการสีของข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ

21-25%, 90°C และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิจะถูกนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิใหม่และข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 โดยพบว่าข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าว (60.30±0.28%, 41.24±0.29%) สูงกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติอายุการเก็บรักษา 6 เดือน (55.97± 0.27%, 35.51±0.34%) และข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน (54.44±0.14%, 32.54±0.16%) และไม่เกิน 1 เดือน (51.71±0.18%, 31.51±0.96%) ตามลำดับ สาเหตุเพราะข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเมื่อนำไปผ่านกระบวนการอบแห้งจะทำให้เม็ดแป้งเกิดปฏิกิริยาเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้รอยร้าวหรือการแตกร้าวของเมล็ดข้าวลดลง ส่งผลให้ผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าวสูงเมื่อนำมาขัดสี [13] ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิจัยของ [14] พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง (140 และ 150°C) สามารถเพิ่มปริมาณข้าวเต็มเมล็ดได้สูงสุดเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูง

อย่างไรก็ตามข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนจะมีค่าความขาวน้อยกว่าข้าวหอมมะลิเก่าอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ แต่ค่าความมันมีค่าสูงกว่าข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษาไม่เกิน 1 เดือน ข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และข้าวหอมมะลิเก่าอายุการเก็บรักษา 6 เดือน ตามลำดับ ดังนั้น ข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าในสภาวะดังกล่าวจึงมีคุณภาพการสีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.3.2 ปริมาณแอมิโลส

ตารางที่ 3 พบว่าปริมาณแอมิโลสของข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนไม่มีความแตกต่างกับข้าวประเภทอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าการเร่งความเก่าของข้าวหอมมะลิ โดยใช้ลมร้อนอุณหภูมิสูงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมิโลสในเมล็ดข้าว เช่นเดียวกับ [15] พบว่าคุณสมบัติของสตาร์ชจะไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา แต่น้ำตาลรีดิวซิง (Reducing Sugar) จะลดลง ในขณะที่น้ำตาลนอนรีดิวซิงจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 คุณภาพการสี ปริมาณแอมิโลส และคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนเปรียบเทียบกับข้าวใหม่และข้าวเก่าตามธรรมชาติ

ประเภทข้าว	คุณภาพการสี				ปริมาณแอมิโลส (%)	คุณสมบัติด้านความหนืด				
	ผลผลิตข้าวรวม (%)	ผลผลิตต้นข้าว (%)	ค่าความขาว (%)	ค่าความมัน (%)		ความหนืดสูงสุด (RVU)	การแตกตัวของแป้งสุก (RVU)	ความหนืดสุดท้าย (RVU)	ความคงตัวของแป้งสุก (RVU)	อุณหภูมิแป้งสุก (°C)
ข้าวใหม่อายุไม่เกิน 1 เดือน	51.71±0.18^{d}	31.51±0.96^{d}	38.56±0.16^{a}	3.24±0.01^{b}	19.00±0.50^{ns}	3,547±27^{a}	2,170±33^{a}	3,484±25^{c}	517±6^{d}	71.3±0.8^{d}
ข้าวใหม่อายุ 3 เดือน	54.44±0.14^{c}	32.54±0.16^{c}	36.75±0.37^{b}	3.12±0.02^{b}	18.95±0.46^{ns}	3,438±36^{b}	2,053±22^{b}	3,660±16^{b}	552±4^{c}	74.1±0.8^{c}
ข้าวเก่าอายุ 6 เดือน	55.97±0.27^{b}	35.51±0.34^{b}	35.50±0.10^{b}	2.12±0.01^{c}	19.35±0.84^{ns}	3,355±34^{c}	1,946±28^{c}	3,862±15^{a}	613±10b	76.2±0.4^{b}
ข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อน	60.30±0.28^{a}	41.24±0.29^{a}	33.36±1.47^{c}	3.42±0.16^{a}	19.62±0.90^{ns}	3,441±29^{b}	1,454±28^{d}	3,684±11^{b}	743±31^{a}	86.7±0.5^{a}

^{a,b,c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

3.3.3 คุณสมบัติด้านความหนืด

ข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) ต่ำกว่าข้าวหอมมะลิใหม่อายุไม่เกิน 1 เดือน และข้าวหอมมะลิเก่าอายุการเก็บรักษา 6 เดือน ($p<0.05$) ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกับข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน ($p>0.05$) (ตารางที่ 3) ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ลมร้อนในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกทำให้เม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืด และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่า [16]

จากตารางที่ 3 พบว่าการแตกตัวของแป้งสุก (Break-downViscosity) ของข้าวหอมมะลิที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าต่ำกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติอายุการเก็บรักษา 6 เดือน ข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ ($p<0.05$) สาเหตุเพราะการเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งในระหว่างการอบแห้งมีผลทำให้ผนังเซลล์ของเอนโดสเปิร์มมีความแข็งมากยิ่งขึ้น [17]

เมื่อพิจารณาความคงตัวของแป้งสุก (Setback Viscosity) พบว่าข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนจะมีค่าความคงตัวของแป้งสุกสูงกว่าข้าวหอมมะลิใหม่ตามธรรมชาติ และข้าวหอมมะลิใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับอุณหภูมิแป้งสุกของน้ำแป้ง โดยพบว่าข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนจะมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติที่มีอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวใหม่อายุ 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ ($p<0.05$)

3.3.4 ปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับ

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับของข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อน พบว่ามีค่าสูงกว่าข้าวเก่าตามธรรมชาติอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ ($p<0.05$) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของเม็ดแป้งในระหว่างกระบวนการอบแห้ง [18]

ตารางที่ 4 คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนเปรียบเทียบกับข้าวใหม่และข้าวเก่าตามธรรมชาติ

ประเภทข้าว	คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน			ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก		การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส					
	ปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับ (%)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสีย (%)	อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของข้าวสุก	ความแข็ง (กรัม)	ความเหนียว (กรัม)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบรวม
ข้าวใหม่อายุไม่เกิน 1 เดือน	75.05±4.17^{d}	14.43±0.25^{a}	0.43±0.05^{d}	1,177±25^{d}	750±7^{a}	3.00±0.52^{c}	6.06±0.36^{b}	8.76±0.56^{a}	2.96±0.41^{b}	4.46±0.86^{c}	5.16±0.46^{c}
ข้าวใหม่อายุ 3 เดือน	93.30±2.57^{c}	13.23±0.06^{b}	1.46±0.15^{c}	1,336±39^{c}	643±27^{b}	6.73±0.58^{a}	6.83±0.64^{a}	6.96±0.61^{b}	6.76±0.50^{a}	7.80±0.61^{a}	6.96±0.31^{a}
ข้าวเก่าอายุ 6 เดือน	102.97±2.96^{b}	5.10±0.10^{c}	1.86±0.11^{b}	1,657±18^{b}	490±18^{c}	5.83±0.37^{b}	6.03±0.41^{b}	5.76±0.77^{c}	5.13±0.34^{c}	6.76±0.50^{b}	6.10±0.60^{b}
ข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อน	117.23±0.21^{a}	1.16±0.05^{d}	2.26±0.20^{a}	1,728±21^{a}	351±10^{d}	6.06±0.44^{b}	6.03±0.42^{b}	5.80±0.66^{c}	6.73±0.69^{a}	6.83±0.46^{b}	6.13±0.82^{b}

^{a,b,c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.3.5 ปริมาณของแข็งที่สูญเสีย

ตารางที่ 4 แสดงถึงข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียน้อยกว่าข้าวหอมมะลิเก่าอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ (p<0.05) โดยปริมาณของแข็งที่สูญเสียลดลงเล็กน้อยในช่วง 3 เดือนแรกของการเก็บรักษาและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน [19] พบว่าข้าวใหม่มีการแตกตัวของสตาร์ชในระหว่างการหุงต้มสูงทำให้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียสูงกว่าข้าวเก่า น้ำที่ได้จากการหุงต้มของข้าวใหม่จึงมีลักษณะข้นหนืดกว่าข้าวเก่า ในขณะที่ข้าวหอมมะลิที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิสูงจะทำให้สตาร์ชในเมล็ดข้าวเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันบางส่วน และมีความต้านทานต่อการแตกตัวของสตาร์ชในกระบวนการเจลาติไนเซชันได้สูง จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในน้ำที่ได้จากการหุงต้มลดลงและต่ำกว่าข้าวประเภทอื่นๆ

3.3.6 อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของข้าวสุก

อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของข้าวสุกเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่ามีค่าสูงกว่าข้าวเก่าตามธรรมชาติที่มีอายุการเก็บรักษานาน 6 เดือน และข้าวใหม่อายุการเก็บรักษานาน 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ (p<0.05) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ [19] สรุปว่าข้าวเก่ามีการขยายตัวสูงกว่าข้าวใหม่โดยอัตราการขยายตัวของข้าวสุกจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเมื่อปรับปริมาณความชื้นด้วยไอน้ำ [20] อธิบายเพิ่มเติมว่าการเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วนของสตาร์ชทำให้ผนังเอนโดสเปิร์มของข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น มีผลทำให้สตาร์ชดูดซึมน้ำได้สูงในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวจึงขยายปริมาตรเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

3.3.7 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

ความแข็งของข้าวสุกข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนสูงกว่าข้าวเก่าตามธรรมชาติที่มีอายุการเก็บรักษานาน 6 เดือน และข้าวใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ (p<0.05) ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าความเหนียวโดยข้าวใหม่อายุไม่เกิน 1 เดือน มีความเหนียวสูงที่สุด ในขณะที่ข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าจะมีความเหนียวต่ำที่สุด (ตารางที่ 4) ข้าวหอมมะลิที่ผ่านการเร่งความเก่ามีค่าความแข็งสูงกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติและข้าวหอมมะลิใหม่ เป็นผลมาจากการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชในเมล็ดข้าว ทำให้ช่องว่างของอากาศที่เกิดรอยร้าวของเมล็ดข้าวหายไป จึงมีผลทำให้ความแข็งของข้าวสุกเพิ่มขึ้นด้วย [19]

3.3.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสสรุปได้ว่าข้าวใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน มีคะแนนความชอบรวมสูงสุด เนื่องจากผู้บริโภคให้การยอมรับลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่นุ่มแต่ไม่แข็งจนเกินไป ในขณะเดียวกันก็ยังมีกลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิอยู่ ในขณะที่ข้าวใหม่อายุการเก็บรักษาไม่เกิน 1 เดือน มีคะแนนความชอบรวมต่ำสุด ส่วนข้าวเก่าอายุการเก็บรักษา 6 เดือน มีคะแนนด้านความชอบไม่แตกต่างกับข้าวเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยลมร้อน (p>0.05) ซึ่งผู้บริโภคให้ความเห็นว่าถ้ามีการควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันการสูญเสียสารให้ความหอม จะทำให้ข้าวหอมมะลิที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนได้รับคะแนนการยอมรับเพิ่มขึ้น

4. สรุป

การเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิโดยใช้ลมร้อนสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเม็ดแป้งจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าได้ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการสี คุณภาพทางเคมีกายภาพ และคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกสูง อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งต่ำจะทำให้คุณภาพการสีข้าวเปลือกหอมมะลิดีที่สุด

ในการวิจัยนี้พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 21-25%, 90°C และ 3 ชั่วโมง จะเป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิ เนื่องจากให้ผลทางด้านคุณภาพการสีสูงกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกในสภาวะอื่น และมีคุณภาพของข้าวสุกใกล้เคียงกับข้าวเก่าตามธรรมชาติที่มีอายุการเก็บรักษา 6 เดือน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิตที่สนับสนุนทุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Mattaneeya Chiawwet, "Aging of Paddy Using Fluidized Bed Drying Followed by Tempering," M.S. thesis, School of Energy and Materials, Energy Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2005 (in Thai).

[2] Office of Agricultural Economics, Rice Consumption (2010, March 11). [Online]. Available: http://www.oae.go.th

[3] Jaitip Wanitchang, Phatchani Bunthakanon, Kannika Krasaetho, and Prathumphon Saowaphan, "Methodology of increasing the quality of rice," *Agricultural Science Journal,* vol.34, no.4-6(Suppl.), pp.153-156, 2003 (in Thai).

[4] Poomisit Wannacharee, "Accelerated Aging of Hommali Paddy by Drying," Master of Engineering Thesis, Graduate School, Khon Kaen University, 2002 (in Thai).

[5] Somchart Soponronnarit, Adithap Taweerat-tanapanish, Somboon Wetchakama, Ngamchuen Kongseri, and Sunanta Wongpiyachon, "Effects of drying on head rice yield using fluidization technique," *The Royal Institute,* vol.24, no.2, pp.49-64, 1999 (in Thai).

[6] AACC, "Moisture content-air oven method," Approved Methods of the AACC 44-15A, 10 ed, American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA, 2000a.

[7] AACC, "Amylose content of rice," Approved Methods of the AACC 61-03, 9ed, American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA, 1999.

[8] AACC, "Determination of the pasting properties of rice with rapid visco analyzer," Approved Methods of the AACC 61-02, 10 ed, American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA, 2000b.

[9] Anonymous, "A texture analysis study on boiled rice," *International Food Marketing and Technology*, vol.8, no.5, pp.53-55, 1994.

[10] A. Sesmat and J.F. Meullenet, "Prediction of rice sensory texture attributes from a single compression test, multivariate regression, and a stepwise model optimization method, *Journal of Food Science*, vol.6, pp.124-131, 2001.

[11] O.R. Kunze and D.L. Calderwood, *Chapter 9: rough rice drying-mositure adsorption and desorption*, In E.T. Champange, Rice: chemistry and technology, American Association of Cereal Chemists, USA, 2004.

[12] O.R. Kunze and M.S.U. Choudhury, "Moisture adsorption related to the tensile strength of rice," *Cereal Chemistry*, vol.49, pp.684-696, 1972.

[13] Padungsak Wanitchang, *Rice mill management,* Rajamangala University of Technology Towam-Ok, 1992 (in Thai).

[14] Adithap Taweerattanapanish, Somchart Soponronnarit, Somboon Wetchacama, Ngamchuen Kongseree, and Sunanta Wongpiyachon , "Paddy Drying by Fluidization Technique for Increasing

Head Rice Yield," *Kasetsart J. (Nat.Sci.)*, vol.33, pp.134-145, 2009 (in Thai).

[15] Z. Zhout, K. Robards, S. Helliwell, and C. Blanchard, "Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes," *Journal of Cereal Science*, vol.35, pp.65-78, 2002.

[16] A. Noomhorm, N. Kongseree, and N. Apintanapong, "Effect of aging on the quality of glutinous rice crackers," *Cereal Chemistry*, vol.74, pp. 12-15, 1997.

[17] V.G. Reyes and V.K. Jindal, "Effect of heat treatments on the yields of high moisture rough rice," *Journal of Food Science*, vol.53, pp. 482-487, 1988.

[18] R.M. Villareal, P.A. Resurreccion, B.L. Suzaki, and O.B. Juliano, "Changes in physicochemical properties of rice during storage," *Starch*, vol.28, pp.88-94, 1976.

[19] H.S. Gujral and V. Kumar, "Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice," *Journal of Food Engineering*, vol.59, pp.117-121, 2003.

[20] H.S.R. Desikachar and V. Subrahmanyan, "Expansion of new and old rice during cooking," *Cereal Chemistry*, vol.36, pp.385-391, 1959.