การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้อง ข้าวเปลือกนึ่ง และข้าวกล้องนึ่งระหว่างกระบวนการเก็บรักษา

Changes in Physicochemical Properties of Brown Rice, Parboiled Paddy and Parboiled Brown Rice during Storage

สุนัน ปานสาคร[1] และ อรรถพล นุ่มหอม[2]

บทคัดย่อ

ข้าวกล้อง (Brown rice, BR) ข้าวเปลือกนึ่ง (Parboiled paddy, PP) และข้าวกล้องนึ่ง (Parboiled brown rice, PB) พันธุ์ชัยนาท 1 ถูกผลิตขึ้นและบรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าไขมันทั้งหมด ค่ากรดไขมันอิสระ และคุณลักษณะเพสติง ในระหว่างการเก็บรักษาโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 4°C, 25°C และ 37°C เป็นเวลา 6 เดือน โดยตัวอย่างข้าวจะถูกนำมาวิเคราะห์ทุกเดือน จากผลการทดลองพบว่า ค่าไขมันทั้งหมด ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าคุณสมบัติเพสติงมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการเก็บ ทั้งนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ ชนิดของตัวอย่างข้าว ระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิ ซึ่งการเก็บตัวอย่างข้าว BR, PB และ PP ที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าค่าไขมันทั้งหมดเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการเก็บตัวอย่างข้าวที่อุณหภูมิ 37°C สำหรับการเก็บข้าวทั้ง 3 ตัวอย่างที่ 25°C พบว่าค่าไขมันทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ($P<0.05$) หลังการเก็บ 6 เดือน รวมถึงค่ากรดไขมันอิสระของตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ที่การเก็บ 25°C และ 37°C ขณะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 4°C ในระหว่างการเก็บ 2 เดือนแรก แต่หลังการเก็บ 6 เดือน พบว่าค่ากรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น การศึกษาคุณลักษณะเพสติงของแป้งโดยใช้ เครื่องวัดความหนืดพบว่าการเก็บตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิดที่อุณหภูมิสูงทำให้ค่าเพสติงของแป้งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากแต่ถูกชะลอการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

คำสำคัญ : กรดไขมันอิสระ, คุณสมบัติเพสติ่ง, ข้าวกล้อง, ข้าวเปลือกนึ่ง, ข้าวกล้องนึ่ง

[1]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2]Food Engineering and Bioprocess Technology, Asian Institute of Technology (AIT)

Abstract

Brown rice (BR), parboiled paddy (PP) and parboiled brown rice (PB) from a Thai rice variety (Chainat1) was packed in sealed in sealed in polyethylene bags in order to investigate the effect of storage at different temperatures of 4°C, 25°C and 37°C for six months on the changes of total lipid, free fatty acid and pasting properties. Samples were evaluated every month. Results revealed that total lipid, free fatty acid and the RVA pasting values of the rice flour changed during storage. A degree of changes depended upon type of the products, time and temperature. Storage of BR, PB and PP at 4°C resulted in less change in total lipid than those stored at the higher temperature (37°C). At 25°C, the total lipid of all rice samples gradually declined ($P<0.05$) after storage for six months. Free fatty acid of all samples were significantly ($P<0.05$) affected when stored at 25°C and 37°C whereas it remained unchanged at 4°C during storage for the first two months. After six-month storage, the free

fatty acid significantly ($P<0.05$) increased. Study of starch pasting property by using a Rapid Visco Analyzer (RVA) showed that at higher temperature, the pasting property had greater changes in all rice samples and it was retarded at low storage temperature.

Keywords : Free fatty acid, pasting properties, brown rice, parboiled paddy, parboiled brown rice

1.คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้นำในการส่งออกข้าวโดยเฉพาะข้าวนึ่ง ถึงแม้คนไทยจะไม่นิยมบริโภคข้าวนึ่งทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของข้าวนึ่งเช่น ความแข็งเพิ่มมากขึ้น สีเหลือง กลิ่นและรสชาติเฉพาะหลังการหุงสุก ทั้งนี้คุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้เกิดจากกระบวนการ 3 กระบวนการหลักคือ การแช่ การให้ความร้อน และการลดความชื้น [4], [10] รวมไปถึงข้าวนึ่งเป็นข้าวที่ต้องใช้เวลาในการหุงนานดังนั้นจึงสิ้นเปลืองพลังงานตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงกระบวนการหุงสุก ราคาจึงสูงกว่าข้าวขาวทั่วไป อย่างไรก็ตามข้าวนึ่งยังมีคุณประโยชน์ในแง่ของวิตามินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณข้าวต้นสูงขึ้น และสามารถเก็บได้นาน [2],[3],[13],[17]

โดยทั่วไปแล้วข้าวนึ่งจะใช้วัตถุดิบเริ่มต้นเป็นข้าวเปลือก (Parboiled paddy) ซึ่งเปลือกของข้าวเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพตัวหนึ่ง เช่น การซึมของเม็ดสีจากเปลือกเข้าไปในเมล็ดในระหว่างกระบวนการแช่ ทำให้เมล็ดข้าวเหลืองและมีกลิ่น เปลือกเป็นตัวขัดขวางการถ่ายเทความร้อนและมวลสารทำให้เวลาของกระบวนการเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น ดังนั้นการใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นของกระบวนการผลิตจะสามารถลดปัญหาตรงจุดนี้ได้ ซึ่งเราเรียกว่า “ข้าวกล้องนึ่ง (Parboiled brown rice)” [5],[9],[20] อย่างไรก็ตามมีรายงานวิจัยได้รายงานผลของกระบวนการผลิตข้าวกล้องนึ่งในหลายงานวิจัยแต่

ยังขาดข้อมูลในส่วนของกระบวนการเก็บรักษา ว่ามีผลอย่างไรบ้างต่อคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้กระบวนการเก็บรักษามีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าข้าวกล้องมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีหลังจากการเก็บรักษาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ระยะเวลา อุณหภูมิ ความชื้น และบรรจุภัณฑ์ [6], [7] [15], [23], [26], [27]

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาผลของกระบวนการเก็บรักษา ข้าวกล้อง (Brown rice, BR) ข้าวกล้องนึ่ง (Parboiled brown rice, PB) และข้าวเปลือกนึ่ง (Parboiled paddy, PP) พันธุ์ชัยนาท 1 ที่อุณหภูมิ 4°C, 25°C และ 37°C เป็นเวลา 6 เดือน โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าไขมันทั้งหมด ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าคุณสมบัติเพสติง

2.อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่างข้าว

ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าอะไมโลส 37.20% ความชื้นเริ่มต้น 12E1% w.b. นำมาใช้เป็นวัตถุดิบของการทดลอง ก่อนการทดลองนำตัวอย่างข้าวเปลือก เก็บรักษาคุณภาพในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 10°C

2.1.1 ตัวอย่างข้าวกล้อง นำข้าวเปลือกออกจากตู้เย็นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิของข้าวเปลือกเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างข้าวเปลือกมากะเทาะด้วยเครื่องกะเทาะ (THU 35A, Japan) และแยกเมล็ดที่หักออกจากเมล็ดเต็มด้วยเครื่องแยก (TRG05B, Japan) ทำความสะอาดโดยการเป่าลมแยกฝุ่นละอองและบรรจุในถุงพลาสติกน้ำหนัก 500 g จำนวน 21 ถุง

2.1.2 ตัวอย่างข้าวเปลือกนึ่ง นำตัวอย่างข้าวเปลือกจำนวน 4 กิโลกรัม แช่น้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Autoclave, SA-300VL) ที่ 100°C เป็นเวลา 20 นาที และลดความชื้นที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งความชื้นสุดท้าย 12E1% w.b.

2.1.3 ตัวอย่างข้าวกล้องนึ่ง เตรียมตัวอย่างข้าวกล้องเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.1.1 หลังจากนั้นแช่ในน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Autoclave, SA-300VL) ที่ 100°C เป็นเวลา 20 นาที ลดความชื้นที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเป็น 12E1% w.b. นำตัวอย่างข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งเก็บที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2 สัปดาห์ และขัดขาวเพื่อนำรำออกด้วยเครื่องขัดขาว ก่อนการบรรจุจำนวนตัวอย่างละ 21 ถุง น้ำหนัก 500 กรัม/ถุง

2.2 สภาวะการเก็บรักษา

นำตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิดที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้ว แยกใส่ในกล่องพลาสติกมีฝาปิดจำนวน 3 กล่อง กล่องละ 7 ถุง ดังนั้นใน 1 กล่องจะมีข้าว 3 ชนิดชนิดละ 7 ถุง และนำจัดเก็บที่ 3 อุณหภูมิ คือ 37E1°C ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ, 25E2°C และ 4E1°C ในตู้เย็น ทั้ง 3 อุณหภูมิจัดเก็บในที่มืดไม่มีแสงและไม่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ หลังจากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดจาก 3 อุณหภูมิมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีทุกเดือนเป็นเวลา 6 เดือนและบันทึกผล

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 อะไมโลส (Amylose content) และความชื้น (Moisture content) อ้างอิงกระบวนการ

ทดสอบจาก Juliano (1971) และ Lee (1971) ตามลำดับ

2.3.2 คุณสมบัติเพสติง (Pasting Properties) นำตัวอย่างข้าวทั้งสดและที่ผ่านการเก็บแล้วในแต่ละเดือนมาบดด้วยเครื่อง Ultra centrifugal mill (Model ZM 100, Retsh) และผ่าน Sieve ขนาด 1.00 mm ตรวจวัดปริมาณความชื้นทันที หลังจากนั้นชั่งแป้งน้ำหนักประมาณ 3 กรัม (ความชื้นประมาณ 12%w.b.) ใส่ในกระบอกทดสอบ เติมน้ำ กลั่น 25 ml กวนผสมด้วยใบกวน นำกระบอกติดตั้งเข้ากับตัวเครื่องวัดความหนืด (RVA, model 4D Newport Scientific, Australia) ควบคุมกระบวนการให้ความร้อนและความเย็นด้วยระบบคอมพิวเตอร์ตามมาตรฐาน 1 (Standard 1, ICC Standard method No, 162) ค่าที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูปของ ค่าความหนืดสูงสุด, ค่าการยุบตัว, ค่าความหนืดสุดท้าย, ค่าการคืนตัว และค่าความคงตัวในหน่วยของ RVU

2.3.3 ค่าไขมันทั้งหมดและค่ากรดไขมันอิสระ (Total lipid and Free Fatty Acid) บดตัวอย่างข้าวเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.3.2 และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปสกัดโดยการชั่งตัวอย่างแป้งข้าว 3 กรัมห่อด้วยกระดาษกรองและใส่ในขวดปรับปริมาตร เติมด้วย Petroleum ether จำนวน 150 ml และสกัดด้วยเครื่อง Soxtherm multistate (Model SX PC, Gerhardt, UK) วิเคราะห์ไขมันทั้งหมด ด้วยวิธีของ Zhongkai et al., (2003) และไตเตรทหาค่ากรดไขมันอิสระด้วยวิธี AOAC (1995)

2.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างข้าว

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษาของข้าวกล้อง (BR), ข้าวกล้องนึ่ง (PB) และข้าวเปลือกนึ่ง (PP)

คุณสมบัติ	ชนิดของข้าว		
	ข้าวกล้อง (BR)	ข้าวกล้องนึ่ง (PB)	ข้าวเปลือกนึ่ง (PP)
ค่าความชื้น (%w.b.)	12.85±1.22	12.73±0.75	12.68±0.57
ค่าไขมันทั้งหมด (%)	3.56±0.04	1.24±0.08	1.07±0.04
ค่ากรดไขมันอิสระ (%)	1.36±0.13	1.89±0.24	1.58±0.06
ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU)	247.50±2.81	7.00±0.25	43.87±0.91
ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU)	323.45±2.87	77.92±0.33	156.44±1.83
ค่าการยุบตัว (Breakdown, RVU)	84.63±1.41	14.31±0.50	3.78±0.47
ค่าความคงตัว Consistency (RVU)	160.58±1.44	21.32±0.34	47.65±0.51
ค่าการคืนตัว (Setback, RVU)	75.95±2.81	7.00±0.25	43.87±0.91

*MeanEstandard deviation of three replication **MeanEstandard deviation of five replication

ตัวอย่างข้าวทั้งหมดผ่านการลดความชื้นไปที่ 12-13%w.b. ก่อนการเก็บรักษา จากผลการทดลองในเบื้องต้นพบว่าข้าวที่ผ่านการนึ่งซึ่งมีการขัดขาวเพื่อเอารำออกก่อนการบรรจุให้ค่าไขมันทั้งหมดน้อยกว่า ข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการขัดขาว สำหรับค่ากรดไขมันอิสระของข้าวกล้องมีค่า 1.36±0.13% ในขณะที่ข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งมีค่า 1.89±0.24% และ1.58±0.06% ตามลำดับ นั้นหมายความว่ากระบวนการผลิตข้าวนึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระทั้งนี้เนื่องจากความร้อนไปทำลายสารต้านอนุมูลอิสระ (Natural antioxidants) บางตัวนั้นเอง

3.2 ผลของการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น

ความชื้นของตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 25°C ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากสำหรับการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (4°C) ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับ Zia-Ur-Rehaman (2006) อย่างไรก็ตามสำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง 37°C ให้ผลที่แตกต่าง คือ ลดลงเล็กน้อยในช่วง 3 เดือนแรก และลดลงอย่างมากในช่วง 3 เดือนสุดท้ายซึ่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นนี้เห็นได้ชัดกับกรณีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง นั้นคือ BR, PB และPP ให้ค่าความชื้นเริ่มต้น 12.85±0.49%, 12.73±0.30%, 12.68±0.23% และลดลงเป็น 10.89±0.08%, 10.64±0.22%, 10.20±0.02% ตามลำดับ หลังการเก็บ 6 เดือนที่ 37°C ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างข้าวระหว่างกระบวนการเก็บรักษาย่อมมีผลต่อคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพด้วย

3.3 ผลของการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าไขมันทั้งหมดและกรดไขมันอิสระ

การเปลี่ยนแปลงค่าไขมันทั้งหมดของ BR, PB และ PP ระหว่างกระบวนการเก็บรักษาแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งพบว่าค่าไขมันทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 อุณหภูมิเมื่อเวลาการเก็บยาวนานขึ้น ที่อุณหภูมิ 4°C ค่าไขมันทั้งหมดลดลง ($P<0.05$) จากเดือนแรกถึงเดือนที่ 2 ในขณะที่ช่วงเดือนที่ 3-5 พบว่าการลด

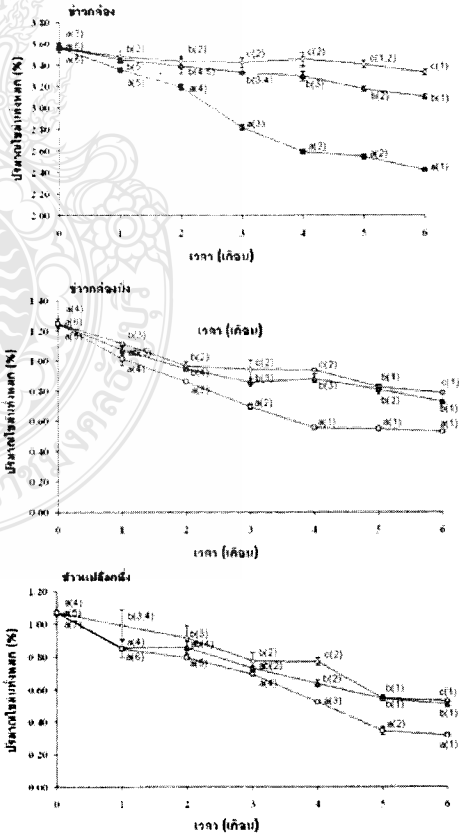
ตารางที่ 2 ค่าปริมาณความชื้นของข้าวกล้อง, ข้าวกล้องนึ่ง และข้าวเปลือกนึ่ง ณ อุณหภูมิการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (4°C, 25°C and 37°C) ตลอดระยะเวลา 0-6 เดือน

ระยะเวลา (เดือน)	ชนิดของตัวอย่างข้าวและอุณหภูมิการเก็บรักษา								
	ข้าวกล้อง (BR)			ข้าวกล้องนึ่ง (PB)			ข้าวเปลือกนึ่ง (PP)		
	4°C	25°C	37°C	4°C	25°C	37°C	4°C	25°C	37°C
0	12.85±0.49^{a}	12.85±0.49^{a}	12.85±0.49^{a}	12.73±0.30^{a}	12.73±0.30^{a}	12.73±0.30^{a}	12.68±0.23^{a}	12.68±0.23^{a}	12.68±0.23^{a}
1	12.71±0.22^{a}	12.52±0.50^{ab}	12.53±0.44^{ab}	12.79±0.11^{a}	12.63±0.36^{ab}	12.66±0.14^{a}	12.43±0.35^{a}	12.70±0.56^{a}	12.55±0.43^{ab}
2	12.73±0.19^{a}	12.32±0.27^{bc}	12.29±0.06^{b}	12.65±0.17^{a}	12.30±0.07^{ab}	12.50±0.13^{a}	12.67±0.22^{a}	12.56±0.03^{ab}	12.24±1.06^{ab}
3	12.77±0.36^{a}	12.17±0.36^{bc}	12.09±0.10^{b}	12.53±0.10^{a}	12.13±0.05^{ab}	12.20±0.09^{b}	12.51±0.57^{a}	12.55±0.04^{ab}	12.01±0.07^{ab}
4	12.76±0.14^{a}	12.06±0.04^{bc}	11.46±0.30^{c}	12.83±0.15^{a}	12.16±0.15^{ab}	12.00±0.08^{b}	12.71±0.10^{a}	12.39±0.07^{ab}	11.78±0.09^{b}
5	12.68±0.28^{a}	11.87±0.05^{c}	11.02±0.11^{cd}	12.74±0.20^{a}	12.14±0.05^{ab}	11.14±0.13^{c}	12.63±0.10^{a}	11.94±0.65^{b}	10.89±0.10^{c}
6	12.62±0.11^{a}	11.85±0.14^{c}	10.89±0.08^{d}	12.67±0.39^{a}	11.95±0.79^{b}	10.64±0.22^{d}	12.77±0.18^{a}	11.05±0.04^{c}	10.20±0.02^{e}

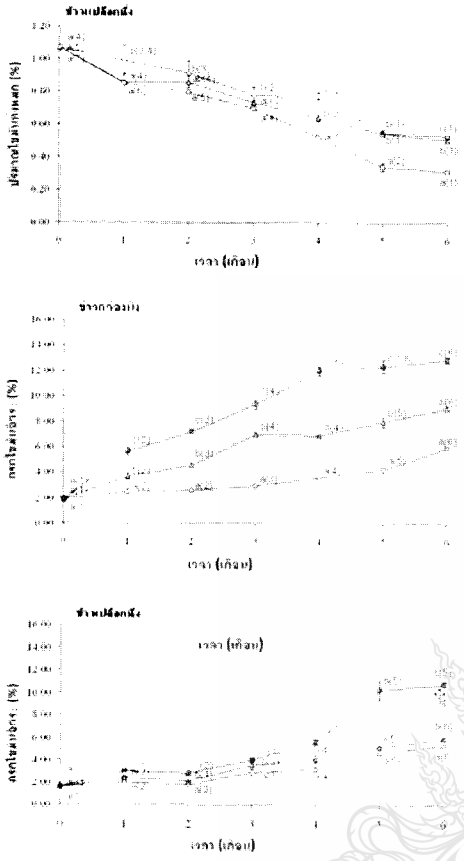
*Values are expressed mean±S.D. of three determinations. In a column, means followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range tests.

ลงแบบไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) และให้ผลเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างข้าวกล้องนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งแตกต่างกับการลดลงของค่าไขมันทั้งหมดที่พบได้ชัดเจนกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากกระบวนการ ไฮดรอไลซิส (Hydrolysis) และ ออกซิเดชั่น (Oxidation) เกิดได้ง่ายที่ช่วงอุณหภูมินี้ เช่นรายงานโดย Sowbhagya และ Bhattachya (1976) เช่น ที่อุณหภูมิ 37°C หลังจากการเก็บตัวอย่างข้าวเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าค่าไขมันทั้งหมดของ BR ลดลง ($P<0.05$) จาก 3.56% เป็น 2.42% เช่นเดียวกับ PB และ PP ซึ่งลดลงจาก 1.24% เป็น 0.53% และ 1.07% เป็น 0.31% ตามลำดับ จากการลดลงอย่างเห็นได้ชัดของค่าไขมันทั้งหมดซึ่งสามารถสรุปได้ว่า BR เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด คือ มีการลดลงของไขมันทั้งหมดถึง 1.14% ในขณะที่ PB ลดลง 0.71% และ PP ลดลง 0.56% เท่านั้น สำหรับการเก็บตัวอย่างข้าวที่อุณหภูมิ 25°C ให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกัน คือ ค่าไขมันทั้งหมดลงลงเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้น

จากการวิเคราะห์พบว่าไขมันเกือบทั้งหมดอยู่ที่บริเวณผิวนอกของข้าว ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาหากข้าวอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น ปริมาณออกซิเจนเหมาะสม อุณหภูมิเหมาะสม และเวลาที่เหมาะสม จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมันด้วยเอ็นไซม์ เปลี่ยนสภาพจากไขมันเป็นกรดไขมันอิสระที่เป็นสาเหตุของการเหม็นหืนนั่นเอง ดังเช่น Piggott และคณะ รายงานไว้ในปี 1991 ดังนั้นจะเห็นว่าข้าวกล้องซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่สูงจึงเกิดปฏิกิริยานี้ได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามในข้าวกล้องนึ่ง และข้าวเปลือกนึ่ง ให้ผลการทดลองในแนวทางเดียวกัน คือ กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างข้าวนานๆ และอุณหภูมิในการเก็บสูงซึ่งแสดงผลการทดลองในรูปที่ 2 และให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับ Yasumatsu et al., (1964), Shibuya และ Iwasaki (1982), Sharp และ Timme (1986) การให้ความร้อนกับตัวอย่างข้าวในกระบวนการผลิตข้าวนึ่งนั้นเป็นสาเหตุของการไปทำลายสารบางชนิดที่เป็นตัวต่อต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นจึงทำให้การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระสูงขึ้นเมื่อสภาวะการเก็บที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4°C) สามารถช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระได้ นั่นคือ ลดการเหม็นหืนของตัวอย่างข้าวลงได้ ช่วยรักษาคุณภาพของตัวอย่างข้าวให้ยังคงสภาพดีอยู่นั่นเอง



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันทั้งหมด (meanES.D.) ในตัวอย่างข้าวระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 0-6 เดือน



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ (meanES.D.) ในตัวอย่างข้าวระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 0-6 เดือน

3.4 ผลของการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติเพสติ้ง (Pasting property)

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเพสติ้งของข้าว BR, PB และ PP แสดงในตารางที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ จากผลการทดลอง

พบว่าค่าความหนืดสูงสุดของตัวอย่างข้าวทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่การเก็บอุณหภูมิ 37°C ในขณะที่อุณหภูมิ 4°C และ 25°C มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย เช่น ค่าความหนืดสูงสุดของ PP ลดลง 47.91% หลังการเก็บที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 5 เดือน ในขณะที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 4°C และ 25°C ค่าความหนืดสูงสุดลดลงเพียง 13.03% และ 25.67% ตามลำดับ การลดลงของค่า ความหนืดสูงสุดจากการทดลองนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการรายงานของ Martin และ Fitzgerald (2002) ซึ่งสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของข้าวในระหว่างกระบวนการเก็บรักษา นอกจากนี้ Zhon et al., (2003b) พบว่าการเก็บตัวอย่างข้าวที่อุณหภูมิ 37°C นอกจากทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลงแล้วยังส่งผลต่อการลดลงของค่าการยุบตัว เช่นกัน ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับที่ได้รายงานไว้ในงานวิจัยนี้ แต่ทั้งนี้อัตราการลดลงยังมีสาเหตุจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ชนิดของพันธุ์ข้าว ดังนั้นการเก็บข้าวที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีได้

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเพสติ้งของข้าวกล้องระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 37°C เป็นเวลา 0-6 เดือน

คุณสมบัติเพสติ้ง RVU	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (เดือน)						
		0	1	2	3	4	5	6
ค่าความหนืดสูงสุด Peak viscosity	4	247.50±2.81$^{a(5)}$	227.7±1.88$^{a(3,4)}$	220.35±1.58$^{a(2)}$	216.90±4.53$^{a(2)}$	229.53±3.09$^{b(4)}$	205.56±1.74$^{b(1)}$	225.71±2.45$^{b(3)}$
	25	247.50±2.81$^{a(3)}$	230.50±4.59$^{a(1,2)}$	242.33±12.20$^{b(3)}$	229.63±1.13$^{c(1,2)}$	240.66±7.59$^{c(2,3)}$	221.60±15.30$^{c(1)}$	227.72±3.28$^{b(1)}$
	37	247.50±2.81$^{a(5)}$	228.38±1.59$^{a(4)}$	225.05±4.29$^{a(4)}$	207.20±3.19$^{a(3)}$	208.18±6.66$^{a(3)}$	190.94±2.35$^{a(2)}$	179.05±5.80$^{a(1)}$
ค่าความหนืดสุดท้าย Final viscosity	4	323.45±2.87$^{a(4)}$	299.58±1.35$^{a(2)}$	302.17±3.07$^{a(2)}$	302.48±3.58$^{a(2)}$	307.61±5.92$^{a(3)}$	283.07±2.35$^{a(1)}$	300.98±4.64$^{a(2)}$
	25	323.45±2.87$^{a(1)}$	313.05±6.43$^{b(1)}$	350.83±11.20$^{b(2)}$	351.72±1.85$^{b(2)}$	375.32±9.53$^{c(3)}$	345.45±15.13$^{c(2)}$	355.13±3.18$^{b(2)}$
	37	323.45±2.87$^{a(2)}$	326.08±2.59$^{c(2,3)}$	369.18±9.26$^{c(5)}$	361.89±4.31$^{c(4)}$	356.68±8.05$^{b(4)}$	332.40±1.21$^{b(3)}$	302.68±3.10$^{a(2)}$
ค่าการยุบตัว Breakdown	4	84.63±1.41$^{a(4)}$	87.90±1.36$^{a(5)}$	84.14±2.33$^{b(4)}$	80.85±4.07$^{c(2,3)}$	83.61±1.46$^{c(3,4)}$	72.21±1.01$^{b(1)}$	80.08±2.02$^{c(2)}$
	25	84.63±1.41$^{a(2)}$	88.32±2.24$^{a(2)}$	87.60±6.36$^{b(2)}$	72.43±3.00$^{b(1)}$	72.31±3.78$^{b(1)}$	72.20±5.57$^{b(1)}$	70.69±5.30$^{b(1)}$
	37	84.63±1.41$^{a(5)}$	88.61±3.63$^{a(6)}$	67.08±2.04$^{a(4)}$	51.94±1.29$^{a(3)}$	45.89±2.34$^{a(2)}$	38.20±1.97$^{a(1)}$	35.75±3.33$^{a(1)}$
ค่าความคงตัว Consistency	4	160.58±1.44$^{a(3)}$	159.78±1.25$^{a(3)}$	165.95±2.16$^{a(4)}$	166.43±4.05$^{a(4)}$	161.68±3.00$^{a(3)}$	149.71±2.31$^{a(1)}$	155.35±2.10$^{a(2)}$
	25	160.58±1.44$^{a(1)}$	170.87±2.45$^{b(2)}$	196.10±5.63$^{b(3)}$	194.52±3.74$^{b(3)}$	206.96±5.62$^{c(4)}$	196.05±6.33$^{c(3)}$	198.10±4.69$^{b(3)}$
	37	160.58±1.44$^{a(1)}$	186.32±3.78$^{a(3)}$	211.22±7.08$^{a(5)}$	206.63±3.92$^{a(5)}$	194.39±3.95$^{b(4)}$	179.65±4.29$^{b(2)}$	159.38±2.85$^{a(1)}$
ค่าการคืนตัว Setback	4	75.95±2.17$^{a(2)}$	71.88±1.06$^{a(1)}$	81.82±2.41$^{a(3)}$	85.58±3.76$^{a(4)}$	78.07±3.10$^{a(2)}$	77.51±1.91$^{a(2)}$	75.26±2.69$^{a(2)}$
	25	75.95±2.17$^{a(1)}$	82.55±3.23$^{b(2)}$	108.50±4.98$^{b(3)}$	122.08±1.75$^{b(4)}$	134.65±4.57$^{b(6)}$	123.84±1.66$^{b(4,5)}$	127.42±2.63$^{b(5)}$
	37	75.95±2.17$^{a(1)}$	97.70±1.35$^{a(2)}$	144.13±6.64$^{a(4,5)}$	154.69±3.11$^{a(6)}$	148.50±2.33$^{a(5)}$	141.45±2.80$^{a(4)}$	123.63±5.48$^{b(3)}$

*Values are expressed as meanES.D. of five determinations. In a column, means followed by the same letter are not significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test. In a row, mean followed by the same number are not significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range tests.

ค่าความหนืดสุดท้ายเป็นอีกหนึ่งค่าที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการเก็บรักษาตัวอย่างข้าว อย่างไรก็ตาม การเก็บ BR ที่อุณหภูมิต่ำ (4°C) พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายคงที่ในช่วง 3 เดือนแรก และลดลงเมื่อเวลาการเก็บยาวนานขึ้น เช่นเดียวกับ PB ที่มีค่าความหนืดสุดท้ายคงที่ในช่วงแรกของการเก็บและมีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 ช่วงอุณหภูมิโดยมีอัตราการลดลง 18.51%, 19.95% และ 20.59% ที่อุณหภูมิ 4°C, 25°C และ 37°C ตามลำดับ สำหรับ PP มีแนวโน้มลดลง ($P<0.05$) หลังการเก็บ 5 เดือนที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่เดือนสุดท้ายของการเก็บ (6 เดือน) ซึ่งแตกต่างจากการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เนื่องจากที่อุณหภูมินี้พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าขึ้นลงไม่มีแนวโน้มชัดเจนในช่วง 3 เดือนแรกแต่ลงลงจนมีค่าน้อยที่สุดที่เดือนสุดท้ายของการเก็บ และจากผลการทดลองยังพบว่าค่าการยุบตัวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างที่มีการเก็บตัวอย่าง BR, PB และ PP ช่วงเดือนแรกและมีค่าขึ้นลง ตลอดการเก็บทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ ยกเว้นการจัดเก็บที่ 37°C ที่มีแนวโน้มลดลงจากเดือนแรกจนถึงเดือนสุดท้ายของการเก็บ ซึ่งการลดลงของค่าการยุบตัวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนและไขมันที่เป็นองค์ประกอบของข้าว ทั้งนี้สังเกตได้ว่าการที่ค่าการยุบตัวลดลงทำให้ข้าวที่ผ่านการหุงสุกแล้วเมล็ดจะเรียงตัวกันอย่างสวยงามไม่ปริแตกหรือบานจนผิดรูปร่าง [14],[22],[26]

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเพสติ้งของข้าวกล้องนึ่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 37°C เป็นเวลา 0-6 เดือน

คุณสมบัติเพสติ้ง RVU	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (เดือน)						
		0	1	2	3	4	5	6
ค่าความหนืดสูงสุด Peak viscosity	4	70.92±0.48$^{a(5)}$	50.96±1.84$^{b(1)}$	59.52±4.25$^{a(3)}$	54.93±2.20$^{a(2)}$	65.03±2.89$^{c(4)}$	48.96±1.69$^{b(1)}$	60.18±2.20$^{b(3)}$
	25	70.92±0.48$^{a(3)}$	50.83±1.07$^{b(1)}$	57.43±5.67$^{a(2)}$	57.70±4.17$^{a(2)}$	58.00±3.05$^{b(2)}$	47.53±3.41$^{b(1)}$	47.80±2.68$^{a(1)}$
	37	70.92±0.48$^{a(4)}$	47.42±0.89$^{a(2)}$	59.85±3.36$^{a(3)}$	55.76±2.82$^{a(3)}$	48.63±3.14$^{a(2)}$	42.25±1.53$^{a(1)}$	46.79±1.52$^{a(2)}$
ค่าความหนืดสุดท้าย Final viscosity	4	77.92±0.33$^{a(4)}$	55.52±1.21$^{b(1)}$	64.78±4.02$^{a(2)}$	63.50±2.02$^{a(2)}$	71.43±3.28$^{b(3)}$	55.16±1.72$^{b(1)}$	64.92±1.85$^{b(2)}$
	25	77.92±0.33$^{a(3)}$	54.38±0.69$^{b(1)}$	62.27±5.31$^{a(2)}$	62.37±5.06$^{a(3)}$	65.16±2.22$^{b(2)}$	54.02±3.03$^{b(1)}$	52.38±2.87$^{a(1)}$
	37	77.92±0.33$^{a(2)}$	52.03±1.12$^{a(5)}$	68.48±4.76$^{a(4)}$	61.87±3.22$^{a(3)}$	55.32±7.07$^{a(2)}$	46.69±1.36$^{a(1)}$	50.67±2.22$^{a(1,2)}$
ค่าการยุบตัว Breakdown	4	14.31±0.50$^{a(2)}$	18.97±1.38$^{a(3,4)}$	18.10±1.17$^{b(3)}$	11.49±0.36$^{a(1)}$	19.80±0.78$^{c(4)}$	13.98±1.13$^{b(2)}$	17.71±1.17$^{c(3)}$
	25	14.31±0.50$^{a(2)}$	25.63±1.87$^{b(5)}$	17.55±1.87$^{b(4)}$	16.38±0.74$^{b(3,4)}$	14.81±1.66$^{b(2,3)}$	13.93±0.88$^{b(2)}$	12.99±1.21$^{a(1)}$
	37	14.31±0.50$^{a(4)}$	19.97±0.71$^{a(5)}$	13.85±0.65$^{a(3,4)}$	11.63±0.86$^{a(2)}$	12.93±1.16$^{a(3)}$	10.48±1.16$^{a(1)}$	14.48±0.66$^{b(4)}$
ค่าความคงตัว Consistency	4	21.32±0.34$^{a(1,2)}$	23.52±0.86$^{a(3)}$	23.37±1.37$^{a(3)}$	20.07±1.07$^{b(1)}$	26.19±0.91$^{c(4)}$	20.18±1.52$^{b(1)}$	22.45±0.95$^{b(2,3)}$
	25	21.32±0.34$^{a(1)}$	29.18±1.59$^{b(2)}$	22.38±1.16$^{a(1)}$	21.00±1.47$^{b(1)}$	21.98±2.14$^{b(1)}$	20.42±0.90$^{b(1)}$	17.57±1.45$^{a(1)}$
	37	21.32±0.34$^{a(4)}$	24.37±0.71$^{a(5)}$	22.48±1.36$^{a(4)}$	17.74±1.18$^{a(2)}$	19.62±1.08$^{a(3)}$	14.92±0.54$^{a(1)}$	18.35±0.72$^{a(2)}$
ค่าการคืนตัว Setback	4	7.00±0.25$^{a(3)}$	4.54±0.91$^{a(1)}$	5.26±0.75$^{b(1,2)}$	8.56±1.26$^{c(4)}$	6.39±0.88$^{a(3)}$	6.20±0.87$^{b(2,3)}$	4.74±0.46$^{a(1)}$
	25	7.00±0.25$^{a(2)}$	3.55±0.82$^{a(1)}$	4.83±0.95$^{b(1)}$	4.62±0.92$^{a(1)}$	7.16±1.59$^{a(2)}$	6.48±0.43$^{b(2)}$	4.58±0.82$^{a(1)}$
	37	7.00±0.25$^{a(2)}$	4.61±0.65$^{a(1)}$	8.63±1.53$^{a(3)}$	6.10±0.43$^{b(2)}$	6.68±0.96$^{a(2)}$	4.44±1.26$^{a(1)}$	3.87±1.05$^{a(1)}$

*Values are expressed as meanES.D. of five determinations. In a column, means followed by the same letter are not significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test. In a row, mean followed by the same number are not significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test.

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเพสติ้งของข้าวเปลือกนึ่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 37°C เป็นเวลา 0-6 เดือน

คุณสมบัติเพสติ้ง RVU	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (เดือน)						
		0	1	2	3	4	5	6
ค่าความหนืดสูงสุด Peak viscosity	4	70.92±0.48$^{a(5)}$	50.96±1.84$^{b(1)}$	59.52±4.25$^{a(3)}$	54.93±2.20$^{a(2)}$	65.03±2.89$^{c(4)}$	48.96±1.69$^{b(1)}$	60.18±2.20$^{b(3)}$
	25	70.92±0.48$^{a(3)}$	50.83±1.07$^{b(1)}$	57.43±5.67$^{a(2)}$	57.70±4.17$^{a(2)}$	58.00±3.05$^{b(2)}$	47.53±3.41$^{b(1)}$	47.80±2.68$^{a(1)}$
	37	70.92±0.48$^{a(4)}$	47.42±0.89$^{a(2)}$	59.85±3.36$^{a(3)}$	55.76±2.82$^{a(3)}$	48.63±3.14$^{a(2)}$	42.25±1.53$^{a(1)}$	46.79±1.52$^{a(2)}$
ค่าความหนืดสุดท้าย Final viscosity	4	77.92±0.33$^{a(4)}$	55.52±1.21$^{b(1)}$	64.78±4.02$^{a(2)}$	63.50±2.02$^{a(2)}$	71.43±3.28$^{b(3)}$	55.16±1.72$^{b(1)}$	64.92±1.85$^{b(2)}$
	25	77.92±0.33$^{a(3)}$	54.38±0.69$^{b(1)}$	62.27±5.31$^{a(2)}$	62.37±5.06$^{a(3)}$	65.16±2.22$^{b(2)}$	54.02±3.03$^{b(1)}$	52.38±2.87$^{a(1)}$
	37	77.92±0.33$^{a(2)}$	52.03±1.12$^{a(5)}$	68.48±4.76$^{a(4)}$	61.87±3.22$^{a(3)}$	55.32±7.07$^{a(2)}$	46.69±1.36$^{a(1)}$	50.67±2.22$^{a(1,2)}$
ค่าการยุบตัว Breakdown	4	14.31±0.50$^{a(2)}$	18.97±1.38$^{a(3,4)}$	18.10±1.17$^{b(3)}$	11.49±0.36$^{a(1)}$	19.80±0.78$^{c(4)}$	13.98±1.13$^{b(2)}$	17.71±1.17$^{c(3)}$
	25	14.31±0.50$^{a(2)}$	25.63±1.87$^{b(5)}$	17.55±1.87$^{b(4)}$	16.38±0.74$^{b(3,4)}$	14.81±1.66$^{b(2,3)}$	13.93±0.88$^{b(2)}$	12.99±1.21$^{a(1)}$
	37	14.31±0.50$^{a(4)}$	19.97±0.71$^{a(5)}$	13.85±0.65$^{a(3,4)}$	11.63±0.86$^{a(2)}$	12.93±1.16$^{a(3)}$	10.48±1.16$^{a(1)}$	14.48±0.66$^{b(4)}$
ค่าความคงตัว Consistency	4	21.32±0.34$^{a(1,2)}$	23.52±0.86$^{a(3)}$	23.37±1.37$^{a(3)}$	20.07±1.07$^{b(1)}$	26.19±0.91$^{c(4)}$	20.18±1.52$^{b(1)}$	22.45±0.95$^{b(2,3)}$
	25	21.32±0.34$^{a(1)}$	29.18±1.59$^{b(2)}$	22.38±1.16$^{a(1)}$	21.00±1.47$^{b(1)}$	21.98±2.14$^{b(1)}$	20.42±0.90$^{b(1)}$	17.57±1.45$^{a(1)}$
	37	21.32±0.34$^{a(4)}$	24.37±0.71$^{a(5)}$	22.48±1.36$^{a(4)}$	17.74±1.18$^{a(2)}$	19.62±1.08$^{a(3)}$	14.92±0.54$^{a(1)}$	18.35±0.72$^{a(2)}$
ค่าการคืนตัว Setback	4	7.00±0.25$^{a(3)}$	4.54±0.91$^{a(1)}$	5.26±0.75$^{b(1,2)}$	8.56±1.26$^{c(4)}$	6.39±0.88$^{a(3)}$	6.20±0.87$^{b(2,3)}$	4.74±0.46$^{a(1)}$
	25	7.00±0.25$^{a(2)}$	3.55±0.82$^{a(1)}$	4.83±0.95$^{b(1)}$	4.62±0.92$^{a(1)}$	7.16±1.59$^{a(2)}$	6.48±0.43$^{b(2)}$	4.58±0.82$^{a(1)}$
	37	7.00±0.25$^{a(2)}$	4.61±0.65$^{a(1)}$	8.63±1.53$^{a(3)}$	6.10±0.43$^{b(2)}$	6.68±0.96$^{a(2)}$	4.44±1.26$^{a(1)}$	3.87±1.05$^{a(1)}$

*Values are expressed as meanES.D. of five determinations. In a column, means followed by the same letter are not significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test. In a row, mean followed by the same number are not significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test.

4. สรุปผลการทดลอง

การเก็บตัวอย่างข้าวกล้อง (BR), ข้าวกล้องนึ่ง (PB) และ ข้าวเปลือกนึ่ง (PP) ที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 4°C, 25°C และ 37°C เป็นเวลา 6 เดือนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างข้าว เวลาการเก็บ และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บ ผลการทดลองพบว่าค่าปริมาณไขมันทั้งหมดและค่าความชื้นลดลงตลอดช่วงการเก็บทั้ง 3 ตัวอย่างข้าวและ 3 ระดับ

อุณหภูมิในขณะที่ค่ากรดไขมันมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับคุณสมบัติเพสติงที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและเวลาการเก็บ นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บตัวอย่างข้าวที่อุณหภูมิสูงให้ค่าการเปลี่ยนแลงของคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการเก็บข้าวที่อุณหภูมิต่ำเป็นการช่วยยืดอายุของข้าวได้ในขณะที่การเก็บข้าวที่อุณหภูมิสูงเป็นการเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว

5. เอกสารอ้างอิง

[1] AOAC.1995. Association of Official Analytical Chemists Official Methods of Analysis, 16th ed. The Association: Washington, DC.

[2] Bhattacharya, K.R. and Rao, S.P.V. 1966a. Processing conditions and milling yield in parboiling of rice. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 14:473–475.

[3] Bhattacharya, K.R. and Rao, S.P.V. 1966b. Effect of processing conditions on quality of parboiled rice. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 44:592-600.

[4] Bhattacharya, K.R. 1985. Parboiling of rice. In: "Rice Chemistry and technology" ed. By B.O. Juliano. **American Association of Cereal Chemists,** Inc., St. Paul, Minnesota, pp. 289–348.

[5] Bhattacharya, K. R. 2004. Parboiling of rice. In: Rice Chemistry and Technology. ed. By N.E.T. Champagne. **American Association of Cereal Chemists,** Inc., St. Paul, Minnesota, pp. 329-404.

[6] Chrastill, J. 1990a. Chemical and physicochemical changes of rice during storage at different temperature. **Journal of Cereal Science**, 11:71-85.

[7] Chrastill, J. 1990b. Protein-starch interactions in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 38:1804-1809.

[8] Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**, 16(10): 334-338

[9] Kar, N., Jain, R.K., and Srivastav, P.P. 1999. Parboiling of dehusked rice. **Journal of Food Engineering,** 39(1):17-22.

[10] Kimura, T. 1991. Effects of processing conditions on the hardening characteristics of parboiled grain. **Journal of the Society of Agricultural Structures**, Japan, 22:111-116.

[11] Lee, R. 1971. **Laboratory handbook of methods of food analysis.** An intertex publisher: London.

[12] Martin, M. and Fitzgerald, M.A. 2002. Proteins in rice grains influence cooking properties, **Journal of Cereal Science**, 36:285-294.

[13] Marshall, W.E., Wadsworth, J.I., Verma, L.R., and Velupillai, L. 1993. Determining the degree of gelatinization in parboiled rice: Comparison of a subjective and objective method. **Cereal Chemistry**, 70(2): 226–230.

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

[15] Perdon, A.A., Marks, B. P., Siebenmorgen, T. J., and Reid, N. B. 1997. Effects of rough rice storage conditions on the amylograph and cooking properties of medium-grain rice cv. Bengal. **Cereal Chemistry**, 74:864-867.

[16] Piggott, J.R., Morrison, W.R., Clyne, J., 1991. Changes in lipids and in sensory attributes on storage of rice milled to different degree. **International Journal of Food Science and Technology**, 26:615-628.

[17] Rao, R.S.N. and Juliano, B.O. 1970. Effect of parboiling on some physicochemical properties of rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 18: 289-294.

[18] Sharp, R.N., and Timme, L.K. 1986. Effected of storage time, storage temperature and packing method on shelf lift of brown rice. **American Association of Cereal Chemists.** 63(3):247-251.

[19] Shibuya, N., and Iwasaki, T. 1982. Effect of the enzymatic removal of endosperm cell wall on the gelatinization properties of aged and unaged rice flours. **Starch/Staerke**, 34:300-303.

[20] Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A., and Taechapairoj, C. 2006. Parboiling brown rice using superheated steam fluidization technique. **Journal of Food Engineering,** 75:423-432.

[21] Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R. 1976. Lipid autoxidation in rice. **Journal of Food Science**, 41:1018-1023.

[22] Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R. 2001. Changes in pasting behavior of rice during aging. **Journal of Cereal Science**, 34: 115-124.

[23] Villareal, R.M., Resurreccion, A.P., Suzuki, L.B. and Juliano, B.O. 1976. Changes in physicochemical properties of rice during storage. **Starch/Starke**, 28:88-94.

[24] Yasumatsu, K., Moritaka, S. and Kakinuma, T. 1964. Effect of the change during storage in lipid composition of rice on its amylofram. **Agricultural and Biological Chemistry**, 28:265-272

[25] Zhongkai, Z., Chris, B., Stuart, H., and Kevin, R. 2003. Fatty acid composition of three rice varieties following storage. **Journal of Cereal Science**, 37:327-335.

[26] Zhou, Z.K., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C. 2003a. Rice aging: Effect of changes in protein on starch behavior. **Starch/Starke**, 55:162-169.

[27] Zhou, Z.K., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C. 2003b. Effect of rice stor age on pasting properties of rice flour. **Food Research International**, 36:625-634.

[28] Zia-Ur-Rehaman. 2006. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, 95:53-57.