Agricultural Sci. J. 42 : 1 (Suppl.) : 390-393 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 1 (พิเศษ) : 390-393 (2554)

การเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยความร้อนร่วมกับความดันสูง II: การกำหนดสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว

Accelerated Ageing of Milled Rice by Heat Treatment and Pressurization II: Determination of Appropriate Condition by Response Surface Methodology

นาฏชนก ปรางปรู[1] สุธยา พิมพ์พิไล[1] และ สุเนตร สืบค้า[1]
Nartchanok Prangpru[1], Suthaya Phimphilai[1] and Sunate Surbkar[1]

Abstract

The objective of this research was to determine an optimum condition in milled rice aging by heat treatment and pressurization using Response Surface Methodology (RSM). Central Composite Design (CCD) of four factors with five levels each were adopted. The four independent variables investigated in this experiment were air temperature in high pressure vessel (X_1) 60-80 degree celsius, heating time (X_2) 60-120 minutes, rotational speed of high pressure vessel (X_3) 30-40 rpm and pressure (X_4) 2-10 bar. Dependent variables were color (y_1), amylose content (y_2), aging rice (y_3), broken rice (y_4), viscosity (y_5) and alkali spreading value (y_6). The optimum condition obtained were air temperature in high pressure vessel at 79.19 degree celsius, heating time of 67.88 min, rotational speed of high pressure vessel at 33.74 rpm and air pressure at 9.19 bar. The test validation regression models at the conditions mentioned above showed that final viscosity, setback and pasting temperature were 13.03, 13.72 and 3.34 percent respectively diverged from those of experimental ones. However, Duncan's Multiple Range Test on volume expension of cook rice shouled no different between aged rice and artificial aging rice.

Keywords: Rice, rice ageing, Response Surface Methodology, Central Composite Design

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยวิธีผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response surface methodology) โดยเลือกใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) เพื่อทำนายสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรอิสระ 4 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน (X_1) 60-80 รอบต่อนาที และความดัน (X_4) 2-10 บาร์ ต่อตัวแปรตามได้แก่ ค่าสี (y_1) ค่าปริมาณอะไมโลส (y_2) ค่าความองศา-เซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน (X_2) 60-120 นาที ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน (X_3) 30-40 รอบต่อนาที ใหม่-เก่าของข้าว (y_3) ค่าปริมาณการแตกหัก (y_4) ค่าความหนืด (y_5) และค่าการสลายเมล็ดในด่าง (y_6) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวสารคือ อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน 79.19 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน 67.88 นาที ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน 33.74 รอบต่อนาที และความดัน 9.19 บาร์ เมื่อทำการทดสอบแบบจำลอง (Regresstion equation) เพื่อยืนยันผลที่สภาวะดังกล่าวพบว่าค่า final viscosity ค่า setback และค่า pasting temperature แตกต่างจาก ค่าจริงร้อยละ 13.03, 13.72 และ 3.34 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการทดสอบโดย Duncan's Multiple Range Test ของการพองตัวของข้าวเก่า และที่เร่งความเก่าไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ข้าว ความเก่าของข้าว ผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว การทดลองแบบส่วนประสมกลาง

คำนำ

ข้าวแบ่งตามอายุการเก็บรักษาได้เป็น 2 ประเภท คือข้าวใหม่และข้าวเก่า โดยข้าวใหม่เมื่อนำมาหุงต้มจะให้เมล็ดข้าวสุกเหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนและแฉะ ส่วนข้าวเก่าเมื่อนำมาหุงต้มจะให้เมล็ดข้าวสุกร่วนไม่เกาะติดกันเป็นก้อนและไม่แฉะ (อรอนงค์, 2550) ดังนั้นผู้บริโภคส่วนใหญ่จึงนิยมบริโภคข้าวเก่ามากกว่าข้าวใหม่ และผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์จากข้าวยังนิยมใช้ข้าวเก่าทำเป็นผลิตภัณฑ์มากกว่าข้าวใหม่ แต่การเก็บรักษาข้าวเปลือกเพื่อรอให้ข้าวเกิดการเปลี่ยนสภาพจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าด้วยวิธีธรรมชาติจะใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและอุณหภูมิ ทำให้สูญเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย จึงมีความพยายามในการเร่งความเก่าของข้าวด้วยวิธีการต่าง ๆ โดย Watanabe *et al.* (1991) ใช้การผสมข้าวที่ผ่านการบดละเอียดกับเอนไซม์ actinase ร่วมกับการให้ความดันสูง 100 MPa (1,000 bar) ส่งผลให้คุณสมบัติการหุงต้มของข้าวดีขึ้น Gujral and Kumar (2003) ใช้วิธีการอบข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 30 min ที่สภาวะความดันบรรยากาศ ขณะที่ Jaisut *et al.* (2009) เร่งความเก่าของข้าวด้วยการอบแห้งข้าวเปลือกหอมมะลิที่อุณหภูมิสูงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับการเทมเปอร์และการเป่าระบายอากาศ

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการแปรรูปผลผลิตเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบล หนองหาร อำเภอ สันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[1] Agro-Process Engineering Curriculum, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Nonghan, Sansai, Chiangmai 50290 Thailand

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าเป็นการเร่งความเก่าของข้าวจากข้าวเปลือกเท่านั้น แต่การรับซื้อข้าวของโรงสีเกือบทั้งหมดจะรับซื้อข้าวเปลือกชื้นซึ่งต้องลดความชื้นลงทันทีเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับข้าว ขณะที่การเร่งความเก่าของข้าวเปลือกโดยใช้ไอน้ำร้อนนั้น เป็นการเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวทำให้ผู้ประกอบการต้องลดความชื้นให้แก่ข้าวซ้ำอีกครั้ง ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน สุเนตรและคณะ (2552) จึงได้ประยุกต์ใช้ความร้อนและความดันในการเปลี่ยนข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่า และจุฑารัตน์และคณะ (2553) ได้ทำการคัดเลือกและกลั่นกรองปัจจัยสำหรับกระตุ้นข้าวสารใหม่เป็นข้าวสารเก่าด้วยวิธี Plackett&Burman พบว่าหากต้องการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพข้าวภายหลังการกระตุ้นให้ข้าวสารใหม่เปลี่ยนเป็นข้าวสารเก่า 4 ปัจจัย จะมีปัจจัยที่คัดเลือกและกลั่นกรองได้คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเร็วรอบ และความดัน ขณะที่การหาผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology, RSM) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (optimal condition) ของระบบหรือกระบวนการผลิตต่าง ๆ โดยอาศัยการสร้างแบบจำลอง (mathematical model) และการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ ซึ่งผลตอบสนอง (response) ของปัญหาจะเป็นความสัมพันธ์หรือฟังก์ชันของหลายปัจจัยหรือหลายตัวแปรอิสระ โดยมีเป้าหมายเพื่อหาระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าเหมาะสมที่สุด (ประไพศรีและพงศ์ชนัน, 2551) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยวิธีผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเร่งความเก่าของข้าวสาร และเป็นประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมข้าวของประเทศ รวมทั้งเกษตรกรผู้ผลิต ตลอดจนผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างข้าวสาร

ข้าวที่ใช้เป็นข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ทำการเพาะปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ ข้าวนี้ถูกขัดสีและขัดขาวด้วยเครื่องสีข้าวกล้องจนได้เป็นข้าวสารที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 12.00±0.10 มาตรฐานเปียก ตัวอย่างข้าวจะถูกแบ่งบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกบริเวณปากถุงแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาในสภาวะควบคุมที่ 15 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 45

2. การวางแผนการทดลอง

งานวิจัยของจุฑารัตน์ และคณะ (2553) ซึ่งคัดเลือกกลั่นกรองปัจจัยสำหรับกระตุ้นข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่าด้วยวิธี Plackett&Burman โดยใช้ความร้อนร่วมกับความดันสูง พบว่ามีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระตุ้นข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่าด้วยเทคนิคความร้อนร่วมกับความดันจำนวน 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน (60-80 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาในการให้ความร้อน (60-120 นาที) ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน (30-40 รอบต่อนาที) และความดัน (2-10 บาร์) ดังนั้นจึงนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยมากำหนดเป็นตัวแปรอิสระและทำการวางแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ทำให้ได้จำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 31 สิ่งทดลอง โดยมีตัวแปรตามคือ คุณภาพของข้าวสารภายหลังการกระตุ้นเปรียบเทียบกับข้าวสารที่ทำให้เก่าโดยวิธีธรรมชาติ ส่วนตัวแปรควบคุมคือ พันธุ์ข้าว (ขาวดอกมะลิ 105) และมวลเริ่มต้นของข้าว (1 กิโลกรัม)

3. ชุดทดสอบการเร่งความเก่าของข้าวด้วยความร้อนร่วมกับความดัน

ชุดทดสอบการเร่งความเก่าของข้าวด้วยเทคนิคความร้อนร่วมกับความดัน เป็นเช่นเดียวกับงานวิจัยของ จุฑารัตน์ และคณะ (2553)

4. การตรวจวัดสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีกายภาพของข้าว

หลังจากเปลี่ยนสภาพข้าวสารด้วยชุดให้ความร้อนและความดันจำนวน 31 สิ่งแล้ว ตรวจวัดสมบัติทางกายภาพและทางเคมีกายภาพ (ค่าตอบสนอง) เทียบกับข้าวเก่าตามธรรมชาติ และข้าวก่อนการกระตุ้น จำนวน 3 ซ้ำ (Internal replication) ค่าที่ตรวจวัดได้แก่ เปอร์เซ็นต์แตกหักของข้าวสารโดยเครื่องคัดแยกแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน ค่าสีโดยเครื่อง Spectrophotometer (HunterLab รุ่น Miniscan-XE-Plus & Colorflex) ค่าการสลายเมล็ดในด่างโดยวิธีการวัดหาค่าจีที (Gelatinization temperature, GT) ค่าความใหม่-เก่าของข้าวโดยใช้สารละลายอินดิเคเตอร์ผสมกับข้าว แล้ววัดค่าความต่างการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 615 และ 690 นาโนเมตร ปริมาณอะมิโลสโดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยเครื่อง Spectrophotometer (Perkin Elmer รุ่น Lambda 2) ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ค่าความหนืดของแป้งข้าวโดยเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid viscosity analyzer, RVA, Newport scientific รุ่น RVA-4SA)

5. การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเร่งความเก่าของข้าวสาร

หลังจากเปลี่ยนสภาพข้าวสารด้วยชุดให้ความร้อนและความดัน จำนวน 31 สิ่งทดลอง แล้วนำข้าวสารไปตรวจวัดคุณภาพจากนั้นนำผลที่ได้หรือตัวแปรตามมาวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูป (full quadratic model) ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 โดยการใส่ตัวแปรตามที่ได้จากการทดลองลงในโปรแกรม Minitab 16 Statistical Software และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ในรูปแบบ full quadratic model การตัดสินแบบจำลองพิจารณาค่า P-value ค่า R^2_{adj} และค่าประมาณความแปรปรวนจากค่าถดถอย (lack of fit) ของผลตอบสนองแต่ละค่า โดยหากค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่หาก

น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน ส่วนค่า R^2_{adj} และค่า lack of fit ยิ่งมีค่าสูง แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามยิ่งมีความสัมพันธ์กันมาก จากนั้นวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยวิธี Response Optimizer โดยกำหนดค่าขอบเขตล่าง-บนของค่าผลตอบสนองจากค่าต่ำสุด-สูงสุดในการทดลอง และใช้ค่าผลตอบสนองของข้าวเก่าเป็นค่าเป้าหมาย จะได้สภาวะที่เหมาะสมของการกระตุ้นข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่า

6. การทวนสอบแบบจำลอง

ทำการทดลองเร่งความเก่าของข้าวสารจากสภาวะเหมาะสมที่กำหนดได้ เปรียบเทียบกับข้าวใหม่ และข้าวเก่า โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวโดยใช้โปรแกรม PASW Statistical 18

7. การวัดปริมาตรข้าวหุงสุก

ทดลองหุงต้มข้าวเพื่อตรวจสอบลักษณะการขยายปริมาตร โดยมีตัวแปรอิสระ 2 ปัจจัย คือตัวอย่างข้าว 3 ระดับได้แก่ ข้าวภายหลังการเร่งความเก่า ข้าวใหม่ และข้าวเก่า และปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้ม 3 ระดับได้แก่ 1.3, 1.5 และ 1.7 เท่า โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบหลายทางโดยใช้โปรแกรม PASW Statistical 18

ผล

1. ผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเร่งความเก่าของข้าวสาร

การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยแบบกำลังสองเต็มรูป พบว่าค่าตัวแปรตอบสนองที่มีผลต่อการเปลี่ยนคุณสมบัติของข้าวมีทั้งหมด 3 ค่าคือ ค่า final viscosity ค่า setback และค่า pasting temperature โดยแสดงค่า P-value ของแบบจำลองน้อยกว่า 0.05 ค่า R^2_{adj} มากกว่า 70.00 และค่า lack of fit เข้าใกล้ 1 (Table 1) และเมื่อวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยวิธี Response Optimizer พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิของอากาศในถังความดันเป็น 79.19 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน 67.88 นาที ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน 33.74 รอบต่อนาที และความดัน 9.19 บาร์

Table 1 Full quadratic models of final viscosity, setback and pasting temperature

Dependent variables	Model	P-value	R^2_{adj}	lack of fit
final viscosity (cP)	$14616.4000+57.1749X_1+6.4889X_2-852.5900X_3-384.4390X_4-1.5718X_1^2+5.3461X_3^2+6.1700X_1X_3+10.6915X_3X_4$	0.000	74.00	0.974
setback (cP)	$5992.7700-152.3990X_1-22.4674X_2+143.2390X_4+1.1689X_1^2+0.3642X_1X_2-2.1521X_1X_4$	0.000	92.30	0.516
pasting temperature (^oC)	$6.18-3.21X_1-0.43X_2+8.28X_3+8.44X_4+0.04X_1^2-0.00X_2^2-0.06X_3^2+0.01X_1X_2-0.05X_1X_3-0.06X_1X_4-0.13X_3X_4$	0.000	72.35	0.722

หมายเหตุ : X_1, X_2, X_3, X_4 คือ อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน ระยะเวลาในการให้ความร้อน ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน และความดัน

2. ผลการทวนสอบแบบจำลอง

เมื่อเร่งความเก่าของข้าวสารที่สภาวะเหมาะสม แล้วนำข้าวภายหลังการเร่งความเก่ามาตรวจวัดสมบัติด้านความหนืดเทียบกับผลจากการทำนายที่ได้จากสมการ พบว่าค่า final viscosity, setback และ ค่า pasting temperature จากการทดลองกับค่าจากการทำนายมีความแตกต่างกันเป็นร้อยละ 13.03, 13.72 และ 3.34 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าผลตอบสนองของข้าวภายหลังการเร่งความเก่ามาเปรียบเทียบกับข้าวใหม่และข้าวเก่า พบว่าตัวอย่างข้าว 3 ชนิดมีค่า final viscosity, setback และ ค่า pasting temperature แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.01 และเมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณ (Multiple comparison test) แบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ค่า final viscosity, setback และ ค่า pasting temperature ของข้าวทั้งสามตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 โดยข้าวภายหลังการเร่งความเก่ามีสมบัติทางด้านความหนืดสูงกว่าข้าวเก่า และข้าวใหม่ (Figure 1) เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองจึงศึกษาการขยายปริมาตรของข้าวภายหลังการหุงต้ม พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ตัวอย่างข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.01 จึงทำการทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี DMRT พบว่าข้าวใหม่แตกต่างจากข้าวที่ได้จากการทดลองและข้าวเก่า ขณะที่ข้าวที่ได้จากการทดลองและข้าวเก่าไม่แตกต่างกัน (Table 2)

Table 2 Volume expansion of different rice samples

Rice flour samples	Volume expansion (mm^3)
Age rice	416.45±32.57 a
Accelerated rice	424.09±50.65 a
Fresh rice	354.70±38.90 b

Means with the same letter are not significantly different ($p<0.05$) by DMRT

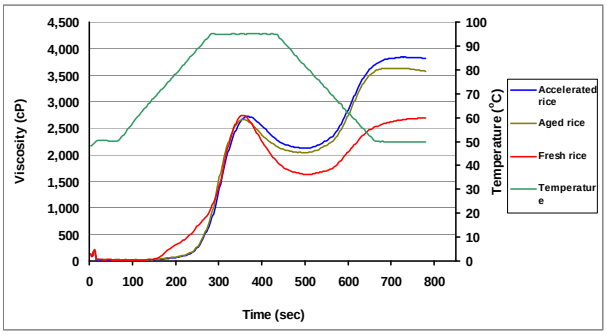

Figure 1 The viscosity profiles of rice flour treated under pressure with different air temperature compared to those of aged and fresh rice

วิจารณ์ผล

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยวิธีผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว พบว่าตัวแปรตอบสนองที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเร่งความเก่าของข้าวสารโดยความร้อนร่วมกับความดันมี 3 ตัวแปร คือ final viscosity, setback และ pasting temperature ซึ่งจุฑารัตน์ และคณะ (2553) รายงานว่าตัวแปรดังกล่าวเป็นค่าตอบสนองที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเร่งความเก่าของข้าวสาร เมื่อนำตัวแปรดังกล่าวมาวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิของอากาศในถังความดัน 79.19 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน 67.88 นาที ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน 33.74 รอบต่อนาที และความดัน 9.19 บาร์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะการขยายปริมาตรของข้าว พบว่าข้าวที่ได้จากการทดลองและข้าวเก่ามีลักษณะการขยายปริมาตรไม่แตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิสูงส่งผลให้การจับตัวกันระหว่างพันธะภายในของเม็ดแป้งคลายตัวลง เมื่อนำข้าวมาหุงต้ม น้ำจึงสามารถซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ง่าย ทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าการขยายปริมาตรของข้าวเพิ่มมากขึ้น (มัทนียา, 2548) นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติทางด้านความหนืดของน้ำแป้ง ชี้ให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศในถังความดันเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า final viscosity, setback และ pasting temperature มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลให้อะไมโลส ละลายออกมาจากเม็ดแป้งได้มากขึ้น และสามารถรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างใหม่ได้ดี (เบญจลักษณ์, 2550)

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณกลุ่มเกษตรอินทรีย์ดอกคำ จังหวัดเชียงใหม่ ที่สนับสนุนข้าวขาวดอกมะลิ 105

เอกสารอ้างอิง

จุฑารัตน์ นนทะมา วิศรุต ฟั่นหา และ สุเนตร สืบค้า. 2553. การเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยความร้อนร่วมกับความดันสูง 1: การกลั่นกรองปัจจัยด้วยวิธี Plackett & Burman. *ใน* การสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 8 เรื่อง เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว : นวัตกรรมเพื่ออนาคต. 1-3 กันยายน 2553. โรงแรมดิเอ็มเพลส จังหวัดเชียงใหม่.

เบญจลักษณ์ ศิริบูรณ์. 2550. ผลของการ annealing ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกันต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 153 น.

ประไพศรี สุทัศน์ และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. ท้อป. กรุงเทพฯ. 464 หน้า.

มัทนียา เชี่ยวเวช. 2548. การเร่งความเก่าของข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคในการอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับการเทมเปอร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 80 น.

สุเนตร สืบค้า นิลุบล บินไชย และ พัชรินทร์ สมเทศ. 2552. เทคนิคใหม่ด้วยการให้ความร้อนและความดันในการทำข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่า. โครงการ IRPUS ประจำปี 2551. 7 น.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 366 น.

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

Jaisut, D., S. Prachayawarakorn, W. Varanyanond, P. Tungtrakul and S. Soponronnarit. 2009. Accelerated aging of jasmine brown rice by high-temperature fluidization technique. *Food Research International* 42 : 674-681.

Watanabe, M., E. Arai, K. Honma and S. Fuke. 1991. Improving the cooking properties of aged rice grains by pressurization and enzymatic treatment. *Journal Agricultural and Biological Chemistry* 55(11) : 2725-2731.