Agricultural Sci. J. 42 : 1 (Suppl.) : 385-389 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 1 (พิเศษ) : 385-389 (2554)

การเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยความร้อนร่วมกับความดันสูงส่วนที่ I: การกลั่นกรองปัจจัยด้วยวิธี Plackett & Burman

Accelerated Aging of Milled Rice by Heat Treatment and Pressurization Part I: Screening Factors by Plackett & Burman Method

จุฑารัตน์ นนทะมา[1] วิศรุต ฝั้นหา[1] และ สุเนตร สืบค้า[1]
Jutarat Nonthama[1], Wisarut Fanha[1] and Sunate Surbkar[1]

Abstract

Stored rice or aged rice gives better rice – cooking and eating quality compared to that of fresh rice. However, the natural aging process takes approximately 3 – 6 months which is too long for a commercial purpose. The accelerated rice aging by heat treatment combined with pressurization has been studied. This study aimed to identify appropriate factor(s) by using the Plackett & Burman factor elimination method. Five factors were involved in the study namely; initial weight of rice (1 and 2 kg), air temperature in a high-pressured vessel (60 and 80 °C), heating time (60 and 120 min), revolutions of a high-pressured vessel (30 and 40 rpm) and air pressure in a high-pressured vessel (2 and 10 bar). Thai jasmine rice *Kao Doe Mali* 105 variety was used as a material for investigation. Multiple linear regressions were applied to data collected for the significant effect. It was found that the use of this Plackett & Burman screening procedure could eliminate an initial weight of milled rice and leave 4 factors for investigation. If 3 factors were to be studied, either revolution speed of vessel or pressure vessel could be further eliminated. As for 2 factors, the air temperature in a high-pressured vessel and heating time will be preferred. As for one factor experiment, the air temperature in vessel gave the most significant effect on the rice aging properties. Experimental validation showed that accelerated milled rice had the highest final viscosity, highest hardness resulting in a high pasting temperature and the lowest breakdown. Those physiochemical properties obtained were similar to those of natural aged rice.

Keywords: Rice, rice aging, Plackett & Burman method

บทคัดย่อ

ข้าวเก่าเมื่อหุงต้มจะได้ข้าวสวยที่มีคุณสมบัติและคุณภาพในการบริโภคดีเมื่อเทียบกับข้าวใหม่ จึงเป็นที่ต้องการและนิยมของผู้บริโภค แต่การเปลี่ยนแปลงของข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่าด้วยวิธีธรรมชาติใช้เวลานานประมาณ 3 – 6 เดือน ดังนั้นจึงมีการเร่งความเก่าของข้าวโดยใช้เทคนิคความร้อนร่วมกับความดันสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อกลั่นกรองและคัดเลือกปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธี Plackett & Burman ในการเร่งความเก่าของข้าวสารภายใต้ความร้อนและความดันสูงโดยมีปัจจัยในการศึกษา 5 ปัจจัย ๆ ละ 2 ระดับ ได้แก่ มวลเริ่มต้นของข้าวสาร (1 และ 2 kg) อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน (60 และ 80 °C) ระยะเวลาในการให้ความร้อน (60 และ 120 min) ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน (30 และ 40 rpm) และความดัน (2 และ 10 bar) โดยใช้ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาและคุณภาพข้าวด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร พบว่า หากต้องการศึกษา 4 ปัจจัยสามารถคัดเลือกมวลเริ่มต้นของข้าวสารออก หากต้องการศึกษา 3 ปัจจัย มีปัจจัยที่ต้องคัดเลือกออกเพิ่มเติมคือ ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน หรือ ความดัน หากต้องการศึกษาเพียงสองปัจจัย มีปัจจัยที่ต้องคัดเลือกออกเพิ่มเติมคือ ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน และ และความดัน หากต้องการศึกษาเพียงหนึ่งปัจจัย ต้องศึกษา อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน การทดลองเพื่อยืนยันผล พบว่า ข้าวสารภายหลังการเร่งความเก่ามีค่าความหนืดสุดท้ายเมื่อทำให้เย็นตัวสูงกว่าข้าวชนิดอื่น มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจึงมีอุณหภูมิที่ข้าวเริ่มสุกสูงขึ้น ในขณะค่าความเหนียวลดลง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับข้าวเก่า

คำสำคัญ: ข้าว ความเก่าของข้าว วิธี Plackett & Burman

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

คำนำ

การทดลองที่มีปัจจัยที่ต้องศึกษาจำนวนมากด้วยแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปจะมีค่าใช้จ่ายสูง ต้องใช้เวลาและทรัพยากรมาก เนื่องจากจำนวนการทดลองที่ใช้แปรผันตามจำนวนระดับของปัจจัยและจำนวนปัจจัยที่ศึกษา แผนการทดลองแบบ Plackett & Burman จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเนื่องจากเป็นการลดรูปลงจากการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปในสัดส่วนของจำนวนระดับปัจจัย จึงนิยมนำมาใช้ในการคัดเลือกปัจจัยออกบางส่วน เพื่อลดจำนวนปัจจัยลงเหลือเฉพาะปัจจัยที่สำคัญ (มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง) (ประไพศรี และ พงศ์ชนัน, 2551)

ผู้บริโภค และผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวนิยมข้าวเก่ามากกว่าข้าวใหม่ เนื่องจากคุณภาพการหุงต้มดี การขยายปริมาตรหลังการหุงต้มสูงกว่าข้าวใหม่ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากข้าวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาข้าวเปลือกเพื่อรอให้ข้าวเกิดการเปลี่ยนสภาพจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าด้วยวิธีธรรมชาติจะใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าวและอุณหภูมิ จากการศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวโดยวิธีการของ Watanabe *et al*. (1991) พบว่าการผสมข้าวที่ผ่านการบดละเอียดกับเอนไซม์ actinase ร่วมกับการให้ความดันสูง 100 MPa (1,000 bar) ส่งผลให้คุณสมบัติการหุงต้มของข้าวดีขึ้น เพราะผนังเซลล์บางส่วนของอนุภาคแป้งถูกทำลาย ทำให้ช่วยเพิ่มการพองตัว และการเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้ง นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเทคนิคอื่น ๆ ในการเร่งความเก่าของข้าว อาทิ ภูมิสิทธิ์ (2545) พบว่าควรเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิโดยการอบในภาชนะปิดด้วยอุณหภูมิ 55 °C ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 70 °C ใจทิพย์และผดุงศักดิ์ (2548) ใช้วิธีอบข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนจนข้าวเปลือกมีอุณหภูมิ 70-75 °C และมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 30 เช่นเดียวกับ Gujral and Kumar (2003) ที่อบข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลานาน 30 min ที่สภาวะความดันบรรยากาศ แต่ต้องใช้พลังงานในการอบซ้ำเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือกภายหลังการเร่งความเก่า ขณะที่ Wiset *et al*. (2005) กระตุ้นความเก่าของข้าว 2 ขั้นตอน คือการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดเซชัน จนความชื้นของข้าวเหลือร้อยละ 18 จากนั้นนำไปอบแห้งต่อที่อุณหภูมิ 100, 125 และ 150 °C ส่วน Soponronnarit *et al*. (2008) และ Jaisut *et al*. (2009) เร่งความเก่าด้วยการอบแห้งข้าวเปลือกหอมมะลิที่อุณหภูมิสูงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับการเทมเปอร์และการระบายอากาศ พชรวรรณและคณะ (2550) ใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 70 °C เป็นเวลา 100 min และจุฑารัตน์ (2550) ใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าสถิตย์แรงสูงในการลดความมีขั้วของข้าวนาน 20 – 40 min ก่อนอบแห้งต่อเนื่องแบบชั้นบางที่ 40 – 70 °C

โดยงานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกด้วยเทคนิคการลดความชื้นข้าวเปลือก แต่ในความเป็นจริงในระหว่างการรับซื้อข้าวเปลือก ผู้ประกอบการไม่มีเวลาที่จะเร่งความเก่าของข้าวเปลือกความชื้นสูงจำนวนมากมายได้ทันในระยะเวลาอันสั้น สุเนตรและคณะ (2552) จึงศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวที่ระดับความชื้นต่ำด้วยการเปลี่ยนสภาพข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่าภายใต้ความร้อนและความดัน ซึ่งเป็นวิธีการเร่งความเก่าของข้าวที่ปฏิบัติได้จริงในสถานประกอบการ แต่ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดังกล่าว เช่น มวลเริ่มต้นของข้าวสาร ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของข้าวสาร ระดับความดัน เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวจากข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่า โดยนำแผนการทดลองแบบ Plackett & Burman เข้ามาใช้ในการกลั่นกรองและคัดเลือกปัจจัยออกบางส่วน เพื่อให้ได้ปัจจัยที่มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการศึกษาการเร่งข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่าต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างข้าวสาร

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

2. การสร้างแผนการทดลองแบบ Plackett & Burman

เมื่อพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเร่งข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่าในงานวิจัยของ สุเนตรและคณะ (2552) จึงจัดการทดลองแบบ Plackett & Burman โดยมีปัจจัยที่ต้องการกลั่นกรอง 5 ปัจจัย ๆ ละ 2 ระดับ (ระดับต่ำและระดับสูง) ได้แก่ มวลเริ่มต้นของข้าวสาร (1 และ 2 kg) อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน (60 และ 80 °C โดยเวลาที่ใช้ในการทำให้อากาศในถังความดันเข้าสู่อุณหภูมิที่ต้องการมีค่า 30 – 40 และ 90 min ตามลำดับ) ระยะเวลาในการให้ความร้อน (60 และ 120 min) ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน (30 และ 40 rpm) และความดัน (2 และ 10 bar) จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยที่ต้องการ

ศึกษา 5 ปัจจัย ดังนั้นจึงเลือกแผนการทดลองแบบที่มีจำนวนสิ่งทดลองเท่ากับ 7 (N = 7) จากทฤษฎีของ Plackett & Burman ทำให้สามารถออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง โดยไม่มีการทดลองใดซ้ำกันเลย

3. ชุดทดสอบการเร่งความเก่าของข้าวด้วยความร้อนร่วมกับความดัน

ชุดทดสอบการเร่งความเก่าของข้าวด้วยเทคนิคความร้อนร่วมกับความดัน (Figure 1) ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน คือ control box เป็นกล่องควบคุมการทำงานของฮีทเตอร์อินฟราเรด และความเร็วของถังความดัน pressure vessel เป็นถังความดันทำด้วยเหล็กสแตนเลสหนา 5 มิลลิเมตร ส่วนหน้าแปลนหนา 12.7 mm ความจุ 8 L ทนความดันได้สูงถึง 100 bar, infrared heaters เป็นชุดให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟาเรดแบบหลอด electric motor เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 hp และ structure เป็นชุดโครงสร้าง หลักการทำงานคือถังความดันที่บรรจุข้าวสาร และเติมอากาศความดันสูง จะหมุนอยู่เหนืออีทเตอร์อินฟราเรด โดยภายในถังความดันมีครีบช่วยในการกลับข้าวสารให้ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง เมื่อเปิดฮีทเตอร์อินฟราเรดความร้อนจากหลอดอินฟราเรดจะถ่ายเทให้กับตัวถังความดันทำให้อุณหภูมิของอากาศในถังความดันสูงขึ้น โดยที่ความดันอากาศภายในถังใช้ปั๊มลมขนาด 7.5 แรงม้าเพิ่มแรงดันภายในถังได้สูงสุดถึง 12 bar

4. การตรวจวัดสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีกายภาพของข้าว

หลังจากเปลี่ยนสภาพข้าวสารด้วยชุดให้ความร้อนและความดันจำนวน 8 การทดลอง ตามแผนการทดลอง (ข้อ 2) แล้วจึงตรวจวัดสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีกายภาพ (ค่าตอบสนอง) เทียบกับข้าวเก่าตามธรรมชาติ และข้าวก่อนการเร่งความเก่าจำนวน 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 และค่าความหนืดของแป้งข้าวซึ่งวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid viscosity analyzer, RVA, Newport Scientific รุ่น RVA-4SA) ในหน่วย centipoises (cP) โดยในขณะวิเคราะห์ได้ควบคุมการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอที่ 960 rpm สำหรับ 10 วินาทีแรก หลังจากนั้นเปลี่ยนเป็น 160 rpm แก่ตัวอย่างตลอดการวิเคราะห์ มีการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 °C จากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 95 °C และควบคุมที่ 95 °C เป็นเวลา 2.5 min ก่อนลดอุณหภูมิเป็น 50 °C อีกครั้ง รวมเวลาทดสอบทั้งสิ้น 13 min แล้วแปรผลสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวจากเส้นโค้งความหนืด (Figure 2)

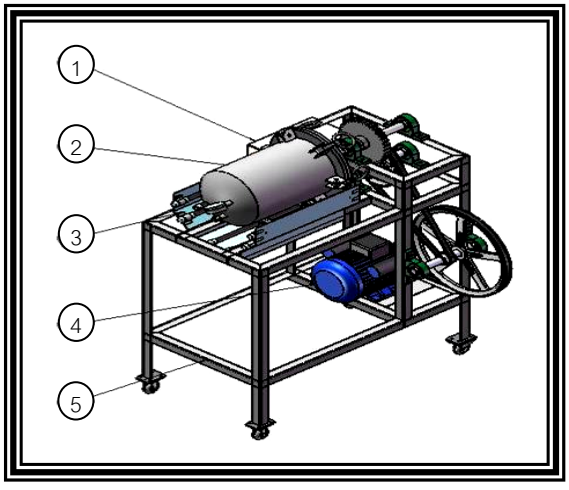
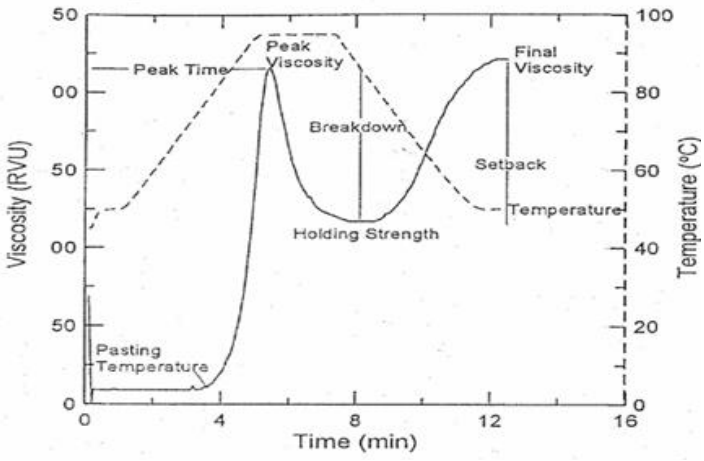


Figure 1 Schematics of the accelerated aging apparatus of milled rice; ① Control box ② Pressure vessel ③ Infrared heaters ④ Electric motor and ⑤ Structure



Peak viscosity: the highest viscosity during heating (a)
Trough viscosity: the lowest viscosity after peak (b)
Breakdown: peak viscosity minus trough viscosity (a-b)
Final viscosity: the viscosity at the completion of the cycle
Setback: final viscosity minus trough viscosity (c-b)
Peak time: time at which the peak viscosity occurred
Pasting temperature: gelatinized temperature at which viscosity start increasing

Figure 2 A pattern of pasting properties of rice flour from RVA

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ตัวแปรที่ต้องการศึกษา กับตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง (ตัวแปรตอบสนอง) นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิครีเกรสชันแบบการถดถอยเชิงซ้อน (Multiple linear regression) ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.20 โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 18.0 for Windows เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเร่งความเก่าของข้าวสาร

6. การยืนยันผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ในข้อ 5. จะสามารถกำหนดสภาวะที่มีผลต่อค่าตอบสนองได้ จึงมีการทดสอบยืนยันผลโดยการเร่งความเก่าของข้าวในสภาวะที่กำหนดเทียบกับข้าวเก่า และข้าวก่อนการเร่งความเก่า ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง (External replication) แล้ววิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวตามแผนการทดลอง และการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows 18.0

ผล

1. ผลการกลั่นกรองปัจจัย

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นระหว่างปัจจัยที่ศึกษาครั้งละปัจจัยกับค่าผลตอบสนองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.10 ไม่สามารถกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลตอบสนองได้ จึงใช้ระดับนัยสำคัญ 0.20 แทน ดังแสดงผลในตารางที่ 2 ทำให้สามารถคัดเลือกปัจจัยได้ดังนี้

Table 1 A number of independent factors affected dependent variables at 0.02 significant differences

Dependent variables	Factor A (Weight)	Factor B (Temperature)	Factor C (Time)	Factor D (Speed)	Factor E (Pressure)
1. % Broken rice	-1	+1	-	+1	+1
2. L* color value	-	-	-	-	-
3. a* color value	-	-	+1	-	-1
4. b* color value	-	+1	+1	-	-1
5. % Amylose	-	-	-	-	-
6. Aging-freshness index	-	-	-	-	-
7. Peak viscosity	-1	-1	-1	+1	-
8. Trough viscosity	-1	+1	+1	-	-1
9. Break down	-	-1	-1	+1	-
10. Final viscosity	-1	+1	+1	-1	-1
11. Setback from peak	+1	+1	+1	-1	-1
12. Peak time	-	-	-	-1	-
13. Pasting temperature	-	+1	-	-	-
Total	5	8	7	6	6

+1 is the responses which are directly proportional to the factors.
-1 is the responses which are inversely proportional to the factors.
- is the responses which are not proportional to the factors.
- หากต้องการศึกษา 4 ปัจจัย สามารถคัดเลือกปัจจัยมวลเริ่มต้นของข้าวสารออกได้
- หากต้องการศึกษา 3 ปัจจัยสามารถคัดเลือกปัจจัยมวลเริ่มต้นของข้าวสาร และความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน / ความดันออกได้
- หากต้องการศึกษา 2 ปัจจัยสามารถคัดเลือกปัจจัยมวลเริ่มต้นของข้าวสาร ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน และความดันออกได้
- หากต้องการศึกษา 1 ปัจจัยสามารถคัดเลือกปัจจัยมวลเริ่มต้นของข้าวสาร ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน ความดัน และระยะเวลาในการให้ความร้อนออกได้

2. ผลการยืนยันการทดลอง

Table 1 ชี้ให้เห็นว่าค่าความหนืดแป้งสุกที่ 50 °C (Final viscosity) และความคงตัวของแป้งสุก (Setback from trough) ถูกระทบจากทุกปัจจัยที่ศึกษา จึงเลือกทดสอบเพื่อยืนยันผลโดยใช้ค่า Final viscosity เป็นเกณฑ์เนื่องจากค่านี้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อข้าวเก่า พบว่า มีชนิดของข้าวสารอย่างน้อย 2 ชนิดที่ทำให้ความหนืดของน้ำแป้งแตกต่างกัน และ เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple comparison test) ด้วยวิธี DMRT พบว่า ข้าวสารภายหลังการเร่งความเก่ามีค่า Final viscosity สูงกว่าข้าวชนิดอื่น (Figure 3) แสดงว่าข้าวสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง มีค่าความคงตัวเพิ่มขึ้น แสดงว่าข้าวสุกเมื่อเย็นจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง ในขณะค่าการแตกตัว (Breakdown) ต่ำที่สุด แสดงว่าข้าวสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง ไม่นุ่ม จึงมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์สูง (ค่า Pasting temperature มีค่าสูงกว่าข้าวเก่า)

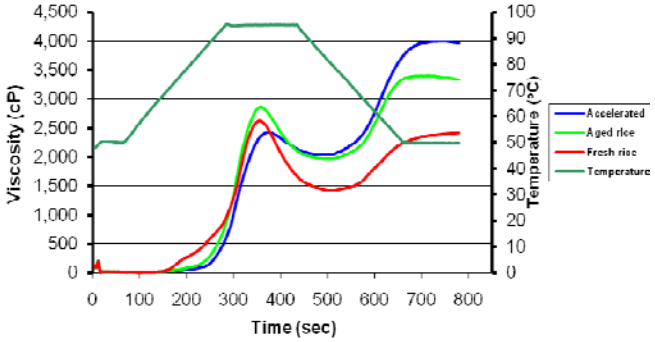


Figure 3 The viscosity profiles of rice flour treated under pressure compared to those of aged and newly harvested rice

วิจารณ์ผล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ต้องการศึกษากับค่าตอบสนองที่นัยสำคัญ 0.20 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษาที่มีผลต่อคุณภาพข้าวได้เด่นชัดที่สุด เนื่องจาก degree of freedom ของความผิดพลาดมีค่าต่ำทำให้ความไวของการทดสอบต่ำไปด้วย การที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการเร่งความเก่ามีผลกระทบต่อค่าตอบสนองมากที่สุด 8 และ 7 ค่า ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เนื่องจากระดับของความดันที่ใช้ในการทดลองยังมีค่าไม่สูงมากพอ งานวิจัยของ Watanabe *et al.* (1991) ชี้ว่าการทำลายผนังเซลล์บางส่วนของอนุภาคแป้งด้วยความดัน 100 MPa (1000 bar) ร่วมกับเอ็นไซม์ actinase จะช่วยเพิ่มการพองตัว และการเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้ง โดยไม่ได้ใช้ความร้อนร่วม นอกจากนี้งานวิจัยของ Lui *et al.* (2009) ยังชี้ว่าความดัน 0.1 – 3.0 MPa (1 – 30 bar) ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์สูงขึ้น 2.5 – 3 °C ซึ่งเชื่อว่าระดับความดันสูงช่วยเพิ่มการแพร่ของน้ำเข้าสู่ส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของอนุภาคแป้ง และเสริมการเกิดเจลาทิไนเซชัน ส่วน Blaszczak *et al.* (2005) อธิบายเพิ่มเติมว่า ความดันสูง (600 MPa) ส่งผลให้เม็ดแป้งที่มีลักษณะเป็นระเบียบ (order) ในลักษณะ amorphous เกิดความไม่เป็นระเบียบ (disorder) ในลักษณะ crystalline อย่างไรก็ตามควรมีการตรวจสอบลักษณะโครงสร้าง (Morphology) ของเม็ดแป้งด้วยเทคนิคที่เหมาะสมเพิ่มเติม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนวิจัย และกลุ่มเกษตรอินทรีย์ดอกคำ จังหวัดเชียงใหม่ ที่สนับสนุนข้าวขาวดอกมะลิ 105

เอกสารอ้างอิง

จุฑารัตน์ ทะสะระ. 2550. *การศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าสถิตแรงสูง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 179 น.

ใจทิพย์ วานิชชัง และผดุงศักดิ์ วานิชชัง. 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเก่าเพื่อชุมชน. ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี. 76 หน้า.

ดลฤดี ใจสุทธิ์ สมเกียรติ ปรัชญาวรากร สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ วารุณี วารัญญานนท์ และพัชรี ตั้งตระกูล. 2550. การเร่งความเก่าของข้าวกล้องหอมมะลิด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ. *ว.วิจัยและพัฒนา มจธ.* 30(4): 659-668.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท๊อป จำกัด. กรุงเทพฯ. 448 หน้า.

พชรวรรณ เทียนสวัสดิ์ จิราภรณ์ สอดจิต์ และวรสิทธิ์ โทจำปา. 2550. เทคโนโลยีการปรับสภาพข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า. โครงการ IRPUS ประจำปี 2550.

ภูมิสิทธิ์ วรรณชารี. 2545. การศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิโดยใช้อุณหภูมิและเวลาอบเป็นปัจจัยเร่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 104 หน้า.

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

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

Blaszczak, W., S. Valverde and J. Fornal. 2005. Effect of high pressure on the structure of potato starch. *Carbohydrate Polymers* 59: 377-383.

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.

Soponronnarit, S., M. Chiawwet, S. Prachayawarakorn, P. Tungtrakul and C. Taechapairoj. 2008. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. *J. of Food Engineering* 85: 268-276.

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.

Wiset, L., G. Srzednicki, M. Wootton, R. H. Driscoll and A.B. Blakeney. 2005. Effects of high-temperature drying on physicochemical properties of various cultivars of rice. *Drying Technology* 23(9): 2227 – 2237.