Agricultural Sci. J. 42 : 1 (Suppl.) : 394-398 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 1 (พิเศษ) : 394-398 (2554)

การเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยความร้อนร่วมกับความดันสูง III: กระบวนการเจลาทิไนเซชันกับคุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำแป้ง

Accelerated Aging of Milled Rice by Heat Treatment and Pressurization III: Gelatinization Process vs. Pasting Properties of Rice Flour

สุเนตร สีบค้า[1,2] , **สุธยา พิมพ์พิไล**[1,2] **และ อรุณี คงดี**[2,3]
Sunate Surbkar[1,2], Suthaya Phimphilai[1,2] and Arunee Kongdee[2,3]

Abstract

This experiment aimed to study correlation of gelatinization process obtained by the Differential Scanning Calorimetry (DSC) technique vs. pasting properties of rice flour by the Rapid Viscosity Analysis (RVA) technique. From the Plackett & Burman experimental design, air temperature in a high-pressured vessel was varied for 4 levels, 60, 70, 80 and 90 °C. While the other variables in acceleration of milled rice aging were fixed as follows; duration in acceleration of 120 min, revolution of a high-pressured vessel of 30 rpm, air pressure in a high-pressured vessel of 2 bar and initial weight of milled rice of 1 kg. Chainart 1 milled rice was used as an experimental sample. Accelerated aging of milled rice treated under pressure at 2 bar at ≥ 70 °C, gross viscosity of starch decreased which was accounted for one of the physical modification method. Effect of studied conditions in this investigation on thermal properties of rice starch also showed 2 endothermic which was accounted for partial gelatinization of starch or partial destructured starch.

Keywords: Rice, rice aging, pasting properties of rice flour, thermal properties of rice flour

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเจลาทิไนเซชันด้วยเทคนิคเชิงความร้อนดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry, DSC) กับคุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำแป้งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Viscosity Analysis, RVA) จากแผนการทดลอง Plackett & Burman จึงศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศในถังความดันสูง 4 ระดับ คือ 60, 70, 80 และ 90 °C โดยกำหนดตัวแปรอื่น ๆ คงที่ คือ เวลาในการเร่งความเก่าของข้าวด้วยความร้อนร่วมกับความดันสูง 120 min ความเร็วการหมุนของถังความดันสูง 30 rpm ความดันภายในถังความดันสูง 2 bar และมวลเริ่มต้นของข้าวสาร 1 kg ใช้ข้าวขาวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นวัสดุทดลอง การเร่งความเก่าของข้าวสารภายใต้ความดัน 2 bar ที่ ≥ 70 °C ทำให้ความหนืดแป้งข้าวโดยรวมมีค่าลดลง ซึ่งจัดเป็นการดัดแปรแป้งทางกายภาพอย่างหนึ่ง อิทธิพลของสภาวะการเร่งความเก่าของข้าวในงานวิจัยนี้ต่อสมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าวแสดงพีคการดูดกลืนความร้อนของแป้งข้าว 2 พีค ส่งผลให้แป้งเกิดเจลาทิไนซ์เซชัน หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบางส่วน

คำสำคัญ: ข้าว ความเก่าของข้าว สมบัติทางความหนืดของแป้งข้าว สมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าว

คำนำ

ผู้บริโภค และผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวนิยมข้าวเก่ามากกว่าข้าวใหม่ เนื่องจากคุณภาพการหุงต้มดี การขยายปริมาตรหลังการหุงต้มสูงกว่าข้าวใหม่ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากข้าวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาข้าวเปลือกเพื่อรอให้ข้าวเกิดการเปลี่ยนสภาพจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าด้วยวิธีธรรมชาติจะใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าวและอุณหภูมิ จากการศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวโดยวิธีการของ Watanabe *et al.* (1991) พบว่าการผสมข้าวที่ผ่านการบดละเอียดกับเอนไซม์ actinase ร่วมกับการให้ความสูง 100 MPa (1,000 bar) ส่งผลให้คุณสมบัติการหุงต้มของข้าวดีขึ้น เนื่องจาก cell wall, cell membranes และ amyloplast membranes เกิดการแตกออก นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเทคนิคอื่น ๆ ในการเร่งความเก่าของข้าว อาทิ ภูมิสิทธิ์ (2545) พบว่าควรเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิโดยการอบในภาชนะปิดด้วยอุณหภูมิ 55 °C ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 70 °C ใจทิพย์และผดุงศักดิ์ (2548) ใช้วิธีอบข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนจนข้าวเปลือกมี

[1] คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[1] Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Nonghan, Sansai, Chiangmai 50290 Thailand
[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
[2] Postharvest Technology Innovation Center, Faculty of Agriculture, Chiangmai University, Chiangmai 50200 Thailand
[3] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[3] Faculty of Science, Maejo University, Nonghan, Sansai, Chiangmai 50290 Thailand

อุณหภูมิ 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

งานวิจัยของจุฑารัตน์ และคณะ (2553) ซึ่งกลั่นกรองและคัดเลือกปัจจัยโดยวิธี Plackett & Burman ระบุว่าอุณหภูมิในการเร่งความเก่าของข้าวสารภายใต้ความดันสูงเป็นตัวแปรที่โดดเด่นที่สุด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดกับสมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าว เนื่องจากการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวขึ้นกับอุณหภูมิ โดยมีระดับเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เมื่อข้าวได้รับความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน พันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลในเม็ดแป้งได้ถูกทำลายลง ทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในรูปอิสระเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ ส่งผลให้เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำได้มากขึ้น (อาลักษณ์ และ พงษ์ธร, 2548) อย่างไรก็ตามในการเร่งความเก่าของข้าวด้วยเทคนิคความร้อนร่วมกับความดันสูงที่ระดับต่าง ๆ แป้งข้าวจะมีสมบัติด้านความหนืดกับสมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าวที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบกับลักษณะปรากฏ คุณภาพ และการแปรรูป การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดังกล่าวจะเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากข้าว และคาดว่าจะสามารถประยุกต์ใช้กับการออกแบบระบบการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างข้าวสาร

ข้าวที่ใช้เป็นข้าวขาวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ทำการเพาะปลูกในจังหวัดพิษณุโลก มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 11.79±0.38 มาตรฐานเปียก ตัวอย่างข้าวจะถูกแบ่งบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกบริเวณปากถุงแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาในสภาวะควบคุมที่ 15 °C และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 45 เป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำมาศึกษา

2. การวางแผนการทดลอง

งานวิจัยของจุฑารัตน์ และคณะ (2553) ซึ่งคัดเลือกกลั่นกรองปัจจัยสำหรับกระตุ้นข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่าด้วยวิธี Plackett & Burman โดยใช้ความร้อนร่วมกับความดันสูง พบว่าอุณหภูมิของอากาศในถังความดันมีอิทธิพลต่อการเร่งความเก่าของข้าวสาร จึงศึกษาอิทธิพลของอากาศในถังความดัน 4 ระดับ คือ 60, 70, 80 และ 90 °C โดยควบคุมสภาวะอื่น ๆ ให้คงที่ คือ มวลเริ่มต้นของข้าวสาร 1 kg ความเร็วการหมุนของถังความดัน 30 rpm (revolutions per min) เวลาในการกระตุ้น 120 min และความดันของอากาศในถัง 2 bar เปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดและสมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าวกับข้าวเก่าที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 6 เดือน และข้าวใหม่ที่ยังไม่ผ่านการเร่งความเก่า วางแผนการทดลองเป็นแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

3. ชุดทดสอบการเร่งความเก่าของข้าวด้วยความร้อนร่วมกับความดัน

ชุดทดสอบการเร่งความเก่าของข้าวด้วยเทคนิคความร้อนร่วมกับความดันได้ถูกพัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ดังระบุรายละเอียดในงานวิจัยของ จุฑารัตน์ และคณะ (2553)

4. การตรวจวัดสมบัติด้านความหนืด และสมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าว

สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าววัดโดยเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid viscosity analyzer, RVA, Newport scientific รุ่น RVA-4SA) ในหน่วย centipoises (cP) โดยในขณะวิเคราะห์ได้ควบคุมการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอแก่ตัวอย่างตลอดการวิเคราะห์ที่ 960 rpm สำหรับ 10 วินาทีแรก หลังจากนั้นเปลี่ยนเป็น 160 rpm มีการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 °C จากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 95 °C และควบคุมที่ 95 °C เป็นเวลา 2.5 min ก่อนลดอุณหภูมิเป็น 50 °C อีกครั้ง รวมเวลาทดสอบทั้งสิ้น 13 min ส่วนสมบัติทางอุณหภาพวัดด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (Mettler Toledo, รุ่น DSC822) โดยการบรรจุแป้งต่อน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก (น้ำหนักแป้งแห้ง 3.0±0.2 mg ต่อน้ำ 9 μL) ลงใน aluminum pan แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 hr จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 ถึง 100 °C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 10 °C/min ร่วมกับการให้ก๊าซไนโตรเจนในอัตรา 60 ml/min ผ่านเข้าไปใน pan holding chamber (Saif et al., 2003) จาก Thermograms ที่ได้จะแสดงค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ที่จุดเริ่มต้น (onset

temperature, To) จุดสูงสุด (peak temperature, Tp) จุดสิ้นสุด (conclusion temperature, Tc) และค่าพลังงานในการเกิดเจลาทิไนซ์ (endothermic energy, ΔH) ในหน่วย J/g

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวตามแผนการทดลอง และการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และหาความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows 18.0

ผล

1. สมบัติทางความหนืดของน้ำแป้ง

ภายหลังการเร่งความเก่าของข้าวด้วยความร้อนและความดัน ความชื้นของข้าวสารอยู่ที่ร้อยละ 10.69±0.71 มาตรฐานเปียก ซึ่งลดลงเล็กน้อยจากวัตถุดิบเริ่มต้น สาเหตุหนึ่งของการลดลงของความชื้นคือการให้อุณหภูมิสูงในระหว่างการเร่งความเก่า Figure 1 ชี้ให้เห็นว่า ข้าวสารใหม่ที่ผ่านสภาวะความดันและอุณหภูมิในช่วงที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงความหนืดอย่างเห็นได้ชัดทั้งความหนืดสูงสุดเมื่อให้ความร้อน (peak viscosity) ความหนืดแป้งสุกที่ 95 °C (trough viscosity) ค่าการแตกตัวของแป้งข้าว (breakdown) ความหนืดแป้งเย็นที่ 50 °C (final viscosity) ความคงตัวของแป้งสุก (setback from trough) เวลาที่เกิดจุดสูงสุดของความหนืด (peak time) และอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ (pasting or gelatinized temperature) โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ 80 และ 90°C ส่งผลให้ค่าดังกล่าวลดต่ำลง ($p<0.05$) ยกเว้น peak time และ gelatinized temperature อย่างไรก็ตามการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 60°C ภายใต้ความดัน 2 bar ไม่พบความแตกต่างจากชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการเร่งความเก่าใด ๆ (Table 1)

จากการเร่งความเก่าของข้าวสารภายใต้ความดันที่ศึกษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นพบว่า ค่าความหนืดโดยรวมมีค่าลดลง สภาวะดังกล่าวจัดเป็นการดัดแปรแป้งทางกายภาพที่ส่งผลให้อนุภาคแป้งมีขนาดเล็กลง มีการพองตัวลดลง หรือแป้งเกิดเจลาทิไนเซชันบางส่วน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Liu *et al.* (2009)

Table 1 Pasting properties of treated rice flour samples under specific pressure and temperatures.

Treatments	Pasting properties of treated rice flour						
	Peak viscosity (cP)	Trough viscosity (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Peak time (min)	Pasting temperature (°C)
60°C	2191.67 a	1702.33 b	489.33 a	3199.00 b	1496.67 b	5.87 c	78.73 de
70°C	1844.00 b	1510.67 bc	333.33 b	2848.00 c	1337.33 b	5.80 c	80.10 cd
80°C	1423.67 c	1311.67 c	112.00 c	2287.33 d	975.67 c	6.20 b	81.70 bc
90°C	930.33 d	917.00 d	34.33 d	1557.00 e	661.00 d	6.62 a	87.15 a
Aged rice	2282.33 a	1925.33 a	357.00 b	4134.00 a	2208.67 a	5.93 bc	82.03 b
Fresh rice	2142.66 a	1655.00 b	487.67 a	3145.67 bc	1490.67 b	5.80 c	77.17 d

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

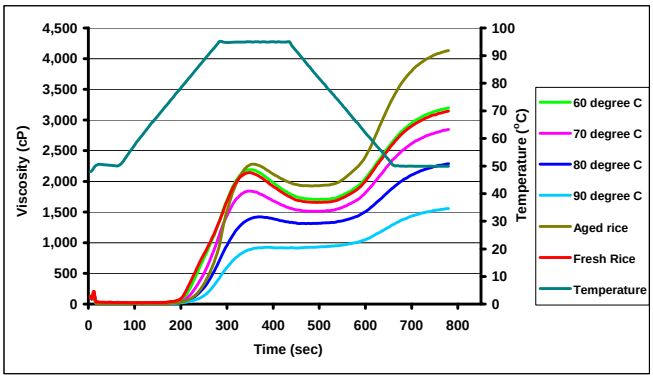

Figure 1 The viscosity profiles of rice flour treated under pressure with different air temperature compared to those of aged and fresh rice

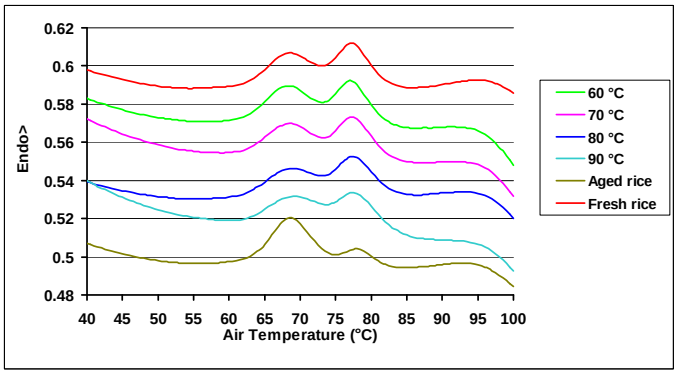

Figure 2 DSC thermograms of different milled rice flour samples under specific pressure and temperature

2. สมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าว

แป้งข้าวที่ถูกเร่งความเก่าภายใต้ความดัน 2 bar ที่อุณหภูมิ 60 – 90 °C มีค่า To ลดลง ค่า Tp และ Tp มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าพลังงานในการเกิดเจลาทิไนซ์ (Endothermic energy, ΔH) ไม่เปลี่ยนแปลง (Table 2) สันนิษฐานว่าเกิดจากการสลายของโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสและไขมัน นอกจากนี้ความดันทำให้โครงสร้างที่อ่อนแอของสตาร์ชขาดออก ทำให้ใช้พลังงานในการหุงต้มต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Liu *et al.* (2009) ที่รายงานว่า To และ Tp เพิ่มขึ้น 2.5 และ 3.0 °C ตามลำดับ ในช่วงความดัน 0.1 – 3.0 MPa (1 – 30 bar) โดยหลังจาก 3.0 MPa (20 bar) ไปแล้วไม่ปรากฏการเพิ่มของ To และ Tp

Figure 2 ชี้ให้เห็นพีคการดูดกลืนความร้อนของแป้งข้าว 2 พีค โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพีคแรกมีแนวโน้มลดต่ำลง ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากพีคการดูดกลืนความร้อนของข้าวเก่าอย่างเห็นได้ชัด จากลักษณะดังกล่าวอาจสันนิษฐานได้ว่า อุณหภูมิภายใต้ความดันที่ศึกษา ส่งผลให้เกิดเจลาทิไนซ์ หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบางส่วนโดยเฉพาะในอสัณฐาน (amorphous) ของอนุภาคแป้ง สำหรับในตัวอย่างแป้งข้าวเก่าที่ผ่านการบ่มตามธรรมชาติพบว่า ต้องอาศัยพลังงานความร้อนที่สูงกว่าในการเกิดเจลาทิไนเซชันของส่วนประกอบในพีคแรก ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าที่เวลาการบ่มข้าวนานขึ้นตามธรรมชาตินั้น ส่งผลให้การจัดเรียงตัวของอนุภาคแป้งเป็นระเบียบมากขึ้น และเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลมากขึ้นโดยเฉพาะในส่วนอสัณฐาน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Liu *et al.* (2009) ที่พบว่าความดันมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิการเกิดเจล (gelatinization temperature) ของแป้ง waxy corn และอธิบายว่าความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การจัดเรียงตัวของอนุภาคมีลักษณะไม่เป็นระเบียบ (disorder) มากขึ้น ความสูงของพีคที่สองใน thermogram จึงลดต่ำลง

Table 2 Thermal properties of treated rice flour samples under specific pressure and temperatures.

Treatments	Thermal properties of rice flour			
	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	endothermic energy (J/g)
60°C	71.20 a	76.83 a	81.89 a	1.783 a
70°C	71.62 a	77.11 ab	82.34 ab	1.603 a
80°C	71.19 a	77.15 ab	82.52 b	1.573 a
90°C	69.65 b	77.42 b	83.52 c	1.580 a
Aged rice	62.78 c	68.39 c	74.54 d	1.523 a
Fresh rice	71.41 a	76.94 a	81.90 a	1.590 a

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

3. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางความหนืดกับสมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าว

Table 3 ชี้ให้เห็นว่าสมบัติทางความหนืดทุกค่ามีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ (To, Tp, Tc) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานในการเกิดเจลาทิไนซ์ (Endothermic energy, ΔH) ขนาดความสัมพันธ์ของสมบัติทางความหนืดกับสมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าวมีค่าอยู่ในช่วง -0.930 ถึง 0.937

Table 3 Pearson correlation coefficients of pasting and thermal properties of accelerated rice flour

	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔH (J/g)
Peak viscosity (cP)	0.781**	-0.749**	-0.909**	0.428
Trough viscosity (cP)	0.810**	-0.780**	-0.930**	0.475
Breakdown (cP)	0.657*	-0.658*	-0.805**	0.352
Final viscosity (cP)	0.820**	-0.745**	-0.920**	0.408
Setback from peak (cP)	0.807**	-0.710**	-0.895**	0.359
Peak time (min)	-0.855**	0.744**	0.890**	-0.428
Pasting temperature (°C)	-0.869**	0.757**	0.937**	-0.405

* or ** correlation is significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

วิจารณ์ผล

การเร่งความเก่าของข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ภายใต้ความดันสูง 2 bar ที่ระดับอุณหภูมิ 60 – 90 °C ไม่ส่งผลให้เกิดความเก่าของข้าวเมื่อเทียบกับข้าวที่มีความเก่าตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามสภาวะดังกล่าวบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดและสมบัติทางอุณหภาพของแป้งข้าวได้ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการกำหนดขอบเขตสภาวะของการศึกษาขั้นต่อไป และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในดัดแปรแป้งทางกายภาพเพื่อให้ได้อนุภาคแป้งข้าวที่มีการพองตัวลดลง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

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

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

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

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

ภูมิสิทธิ์ วรรณชารี. 2545. การศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกหอมมะลิโดยใช้อุณหภูมิและเวลาอบเป็นปัจจัยเร่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเครื่องจักรกลเกษตร. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 104 น.

อาลักษณ์ ทิพยรัตน์ และ พงษ์ธร ลีละยุทธสุนทร. 2548. อิทธิพลของอุณหภูมิและความดันในการหุงข้าวหอมมะลิต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ และโครงสร้างของข้าวในระหว่างการหุง. *ใน* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 : สาขาสัตว์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 1 – 4 กุมภาพันธ์ 2548. หน้า 379-386.

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.

Liu, H., L. Yu, K. Dean, G. Simon, E. Petinakis and L. Chen. 2009. Starch gelatinization under pressure studied by high pressure DSC. *Carbohydrate Polymers* 75: 395-400.

Saif, S.M, Y. Lan and V.E. Sweat. 2003. Gelatinization properties of rice flour. *International J. of Food Properties* 6(3): 531-542.

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.