
การปรับปรุงคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทีไนซ์
Improvement in Quality of Jackfruit Seed Flour by Pregelatinization

ดารารัตน์ นาคละอ¹ อารักษ์รา แสงนาค² และ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์^{1*}

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์

Dararat Narklaor¹, Arpathsra Sangnark² and Kullaya Limroongreunrat^{1*}

¹Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University.

²Food Science and Technology Division, Faculty of Home Economics Technology,
Rajamangala University of Technology Krungthep.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารได้มากขึ้น โดยพรีเจลาทีไนซ์แป้งเมล็ดขนุน 2 วิธี คือ การต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส โดยมีแป้งดิบจากเมล็ดขนุนเป็นตัวอย่างควบคุม พบว่าแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ ระดับการเกิดเจลาทีไนซ์และความหนืดสูงกว่าแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด ($p < 0.05$) 3.0-3.4, 4.5-5.2, 3.1-3.4 และ 10.0-11.6 เท่า ตามลำดับ และสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p < 0.05$) 3.8-4.3, 7.2-8.4, 113.8-125.3 และ 222.0-258.4 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ยังส่งผลให้แป้งพรีเจลาทีไนซ์มีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ ระดับการเกิดเจลาทีไนซ์ และความหนืดสูงขึ้นด้วย

คำสำคัญ : วิธีการพรีเจลาทีไนซ์ สมบัติทางกายภาพ แป้งเมล็ดขนุน

Abstract

Methods for improvement in physical properties of jackfruit seed flour (JSF) were investigated in order to expand food industrial application. JSF was pregelatinized by using two methods: boiling jackfruit seeds for 15, 30 and 45 minutes (B-15, B-30 and B-45) and double drum drying at 120, 130 and 140 °C (DD-120, DD-130 and DD-140) and native JSF was used as a control sample. Water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), degree of gelatinization (DG) and viscosity of JSF pregelatinized by drum drying were 3.0-3.4, 4.5-5.2, 3.1-3.4 and 10.0-11.6 times higher than those of JSF pregelatinized by boiling, respectively ($p < 0.05$) and were 3.8-4.3, 7.2-8.4, 113.8-125.3 and 222.0-258.4 times higher than those of the control, respectively ($p < 0.05$). Moreover, WSI, WAI, DG and viscosity were increased with an increase in temperature surface of the double drum.

Keywords : pregelatinization method, physical properties, jackfruit seed flour

*Corresponding author. E-mail: kullaya@buu.ac.th

ขนุน (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญในเขตร้อนและมีการปลูกมากในประเทศแถบเอเชีย เนื่องจากเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่สามารถปลูกได้ตลอดปีและให้ผลผลิตต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในประเทศไทยมีการบริโภคขนุนทั้งผลที่ไม่ผ่านการแปรรูปและเนื้อขนุนสุก ผลที่ไม่ผ่านการแปรรูปใช้ประกอบอาหารรับประทานแทนผัก ส่วนเนื้อขนุนนำมาบริโภคเป็นขนุนสด หรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรม เช่น ขนุนอบแห้ง ขนุนในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ขนุนแช่แข็ง ขนุนแช่แข็งและขนุนแผ่นทอด เป็นต้น (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล, 2546) รัฐบาลส่งเสริมให้มีการปลูกและแปรรูปขนุนในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกจำหน่ายต่างประเทศเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในเขตภาคตะวันออกเป็นแหล่งปลูกและแปรรูปผลิตภัณฑ์จากขนุนที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา ระยอง ปราจีนบุรี จันทบุรี และตราด ส่งผลให้ผลผลิตขนุนรวมทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2549-2550 สูงถึงประมาณ 130,668 - 132,874 ตันต่อปี โดยพบว่าเมล็ดขนุนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปและบริโภคขนุนมีปริมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลขนุน ซึ่งเมื่อคิดจากผลผลิตทั้งประเทศอาจมีปริมาณเมล็ดขนุนสูงถึงประมาณ 19,600-19,931 ตันต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2551) แต่การใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุนยังมีน้อยส่วนใหญ่นิยมนำมาต้มเพื่อรับประทานเป็นอาหารว่างในครัวเรือนเท่านั้น ดังนั้นควรมีการนำเมล็ดขนุนมาผลิตเป็นแป้งเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 10-12 เปอร์เซ็นต์ (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล, 2546) และยังช่วยเพิ่มมูลค่าและลดการสูญเสียผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย อย่างไรก็ตามแป้งดิบจากเมล็ดขนุนอาจมีข้อจำกัดคือ ไม่ละลายในน้ำเย็นและจับตัวเป็นก้อน จึงควรมีการดัดแปลงสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้นและคงทนต่อสภาวะการผลิตได้ดี วิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการดัดแปรแป้งคือ การทำแป้งพรีเจลลาทีไนซ์ โดยแป้งพรีเจลลาทีไนซ์ที่ได้มีสมบัติต่างจากแป้งดิบคือสามารถกระจายตัวได้ในน้ำเย็น ดูดซับน้ำได้สูง ให้ความหนืดได้ทันที จึงสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแป้งดิบ เช่น ซอส ครีม หน้าขนมต่างๆ ส่วนผสมของซูปลง ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเพื่อช่วยในการดูดซับน้ำและเก็บฟองอากาศได้ดีขึ้น ทำให้เค้กมีความ

ชุ่มชื้นและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารยึดเกาะในการผลิตยาเม็ด (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน โดยการพรีเจลลาทีไนซ์ 2 วิธี คือ การต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งเมล็ดขนุนต่อไป

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

1. การเตรียมแป้งเมล็ดขนุน

นำเมล็ดขนุนจากผลขนุนสุกพันธุ์ทองประเสริฐมาเตรียมแป้งดังนี้

1.1 การเตรียมแป้งดิบจากเมล็ดขนุน

เตรียมแป้งดิบจากเมล็ดขนุน (ตัวอย่างควบคุม) โดยนำเมล็ดขนุนมาล้างทำความสะอาด นำไปต้มในน้ำเดือด ในอัตราส่วนเมล็ดขนุน 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 4 ลิตร เป็นเวลา 3 นาที เพื่อช่วยในการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดออก จากนั้นลอกเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาวครีม และสีน้ำตาลออกจนหมด แล้วจึงล้างด้วยน้ำให้สะอาดและพักให้สะเด็ดน้ำ นำเมล็ดมาหั่นเป็นแผ่นบางให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร นำแผ่นเมล็ดขนุนแผ่นบางมาทอดในน้ำมัน 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วย Ultracentrifugal Mill (Retsch Ultra, ZM 1000, Germany) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ได้แป้งดิบจากเมล็ดขนุนที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้เป็นหน่วยทดลองควบคุม (Control) บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ

1.2 การเตรียมแป้งพรีเจลลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำเดือด

เตรียมแป้งพรีเจลลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุน โดยนำเมล็ดขนุนมาล้างทำความสะอาด นำไปต้มในน้ำเดือด ในอัตราส่วนเมล็ดขนุน 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 4 ลิตร ระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุนเป็น 15, 30 และ 45 นาที (B-15, B-30 และ B-45 ตามลำดับ) จากนั้นลอกเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาวครีมและสีน้ำตาลออกจนหมด แล้วดำเนินการล้างน้ำ หั่น และอบแห้งเช่นเดียวกับข้อ 1.1 จะได้แป้งพรีเจลลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ

1.3 การเตรียมแป้งพรีเจลาทีโนสจากเมล็ดขนุนโดยวิธี การใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

เตรียมแป้งพรีเจลาทีโนสจากเมล็ดขนุน โดยนำเมล็ด
ขนุนมาล้างทำความสะอาด พักให้สะเด็ดน้ำ ลอกเยื่อสีขาวครึ้ม
ออก นำเมล็ดมาหั่นเป็นแผ่นบางให้มีความหนาประมาณ 1
มิลลิเมตร แล้วนำมาปั่นผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 (โดยน้ำหนัก
ต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 นาที กรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง
(อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล, 2546)
นำน้ำแป้งที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ขนาดเส้น
ผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตรโดยแปร
อุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส
(DD-120, DD-130 และ DD-140 ตามลำดับ) ปรับระยะห่าง
ระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองเป็น 0.4 มิลลิเมตร และกำหนดความเร็ว
รอบของลูกกลิ้งเป็น 0.4 รอบต่อนาที ทำแห้งเป็นเวลา 4 นาที
จะได้แป้งที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นบด
ด้วยเครื่องบดละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช
บรรจุแป้งที่ได้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ คำนวณ
ค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (% Yield) ของแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียม
ได้ทุกวิธีโดยชั่งน้ำหนักผลผลิตแป้งที่ได้เทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุน
สดเริ่มต้นที่ยังไม่ได้ลอกเยื่อหุ้มเมล็ดออก แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์
ผลผลิตที่ได้

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

นำแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้จากข้อ 1 มาวิเคราะห์สมบัติ
ทางกายภาพดังนี้

2.1 ค่าสี

วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab Miniscan,
XE Plus, USA) ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* และ b* โดยที่
L* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว)
+a* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง และ -a* หมายถึง ค่าความเป็น
สีเขียว +b* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ -b* หมายถึง
ค่าความเป็นสีน้ำเงิน คำนวณค่าดัชนีความขาว (Whiteness
Index, WI) จาก

ค่าดัชนีความขาว = $100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$
(Li & Lee, 1996)

2.2 ดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำ

วิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำ
ตามวิธีของ Anderson et al. (1969) โดยชั่งตัวอย่างแป้ง 2.5
กรัม ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงที่มีฝาและทราบน้ำหนักแน่นอน
เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยคนด้วยแท่งแก้ว และ

คนทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที ล้างส่วนที่ติดมากับแท่งแก้วลง
ในหลอดหมุนเหวี่ยงโดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่อง
หมุนเหวี่ยงที่ 2200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสลง
ในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105
องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณดัชนี
การละลายน้ำ สำหรับหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมส่วนที่เหลือในหลอด
นำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณค่าการดูดซับน้ำดังนี้

ดัชนีการละลายน้ำ = $(\text{น้ำหนักตัวอย่างส่วนที่ละลายน้ำ} / \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}) \times 100$

ดัชนีการดูดซับน้ำ = $(\text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงพร้อมตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง}) / \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}$

2.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและลักษณะไบรีฟริงเจนส์ (Birefringence) ของเม็ดแป้ง

ศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งและ
ลักษณะไบรีฟริงเจนส์ของเม็ดแป้งโดยใช้ Stage Micrometer
(ความกว้างของสเกลช่องละ 10 ไมโครเมตร) วางบนแท่นวาง
สไลด์ของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Olympus, BX50, Japan)
ปรับระยะโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำที่สุด จนมอง
เห็นสเกลของ Stage Micrometer ชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยน
กำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า และเทียบสเกลของ Ocular
Micrometer กับ Stage Micrometer พบว่า 1 ช่องของ
Ocular Micrometer มีขนาดเท่ากับ 2.5 ไมโครเมตร จากนั้นนำ
Stage Micrometer ออก และเตรียมสไลด์สำหรับศึกษาขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้ง โดยเตรียมน้ำแป้งความเข้มข้น
0.5 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) หยดน้ำแป้งลงบนแผ่น
สไลด์ 1-2 หยด และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ นำแผ่นสไลด์ที่ได้มา
วางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ปรับระยะโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์
ที่กำลังขยายต่ำที่สุด จนมองเห็นอนุภาคของเม็ดแป้งชัดเจน
ที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า ปรับความ
ละเอียดของภาพโดยใช้ปุ่มปรับภาพละเอียด วัดขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางของเม็ดแป้งที่พบโดยใช้ Ocular Micrometer นำค่าที่
ได้มาคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางที่แท้จริงของเม็ดแป้งได้ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (ไมโครเมตร) =
จำนวนช่องของ Ocular Micrometer x 2.5

สำหรับการศึกษาลักษณะไบรีฟริงเจนส์ของเม็ดแป้ง
ทำได้โดยการนำเลนส์โพลาไรซ์วางบนแหล่งกำเนิดแสงของกล้อง
จุลทรรศน์ หมุนแผ่นโพลาไรซ์ให้ได้สีพื้นหลังของภาพเป็นสีดำเพื่อ
ให้เห็นลักษณะไบรีฟริงเจนส์ของเม็ดแป้ง จากนั้นปรับความคมชัด

ของภาพแล้วถ่ายภาพเม็ดแป้งภายใต้แสงโพลาไรซ์

2.4 ระดับการเกิดเจลลาทีโนส และความหนืด

วิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาทีโนสตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Birch & Priestley (1973) โดยอาศัยหลักการทำปฏิกิริยาระหว่างอะไมโลส และสารละลายไอโอดีนได้เป็นสารสีน้ำเงิน สร้างกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) โดยนำแป้งเมล็ดขนุนมาเติมน้ำในอัตราส่วน 1 : 2 นำเข้าหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้แห้งด้วยการเกลี่ยแป้งเมล็ดขนุนใส่ถาดแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ด้วยเครื่องบดละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช จะได้แป้งเมล็ดขนุนที่มีอัตราการเกิดเจลลาทีโนส 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปผสมกับแป้งดิบ (แป้งเมล็ดขนุนที่มีอัตราการเกิดเจลลาทีโนส 0 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างแป้งผสมที่มีอัตราการเกิดเจลลาทีโนสเป็น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ นำแป้งผสมที่ได้มา 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาณ 98 มิลลิลิตร เติมน้ำเกลือละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ปิดเปิดส่วนใส 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำเกลือไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเติมน้ำเกลือละลายไอโอดีน 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเจลลาทีโนส (X) และค่าการดูดกลืนแสง (Y) เพื่อ

วิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาทีโนสของตัวอย่างแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

สำหรับความหนืดของน้ำแป้งจากเมล็ดขนุน วิเคราะห์ตามวิธีของ Abbas *et al.* (2009) โดยเตรียม น้ำแป้งความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) ปริมาณ 500 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer (Brookfield Engineering Laboratories, DV-III, USA) โดยใช้หัววัด LV-3 ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลของวิธีการเตรียมแป้งต่อปริมาณผลผลิตแป้งจากเมล็ดขนุน

จากการศึกษาผลของวิธีการเตรียมแป้งดิบซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมและแป้งพรีเจลลาทีโนสจากเมล็ดขนุนต่อปริมาณผลผลิตแป้งที่ได้ (ตารางที่ 1) พบว่าวิธีการเตรียมแป้งพรีเจลลาทีโนสจากเมล็ดขนุนทั้งสองวิธีให้ปริมาณผลผลิตแป้งที่ได้แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมให้ปริมาณผลผลิตที่ได้สูงที่สุดคือ 39.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด โดยได้ผลใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Tulyathan *et al.* (2002) ซึ่ง

ตารางที่ 1 ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อปริมาณผลผลิตแป้งเมล็ดขนุนที่ได้

วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	ปริมาณผลผลิตแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมล็ดขนุนสด)
Control	39.46 ^a ± 0.70
B-15	37.94 ^b ± 0.74
B-30	37.11 ^{bc} ± 0.16
B-45	36.54 ^c ± 0.78
DD-120	17.16 ^e ± 0.13
DD-130	19.31 ^d ± 0.16
DD-140	19.26 ^d ± 0.10

a, b, c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ได้ผลผลิตของแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุốiใจ 36.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด แต่ต่ำกว่า ผลการศึกษาของ อมรรัตน์ มุขประเสริฐ (2544) ซึ่งได้ผลผลิตของ แป้งเมล็ดขนุนจากเมล็ดขนุนพันธุ์ขนุนหนึ่งประมาณ 50.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด โดยปริมาณผลผลิต ที่แตกต่างกันนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากวิธีการเตรียมแป้งเมล็ด ขนุน ความแตกต่างของสายพันธุ์ ความแก่อ่อนของขนุน รวมถึง ส่วนประกอบของเมล็ดขนุนเช่น เยื่อหุ้มสีชาวมะพร้าวและเยื่อสีน้ำตาล เป็นต้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเตรียมแป้ง พรีเจลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำ เตือดและวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่าวิธีการต้ม เมล็ดขนุนในน้ำเตือดให้ปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทีไนซ์สูงกว่า วิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่โดยมีค่าอยู่ในช่วง 36.5-37.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดขนุนสด เนื่องจาก แป้งพรีเจลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมได้จากวิธีการ ต้มเมล็ดขนุนในน้ำเตือดเป็นแป้งที่ได้จากการใช้เมล็ดขนุนทั้งเมล็ด ที่ขจัดเพียงส่วนของเยื่อหุ้มสีชาวมะพร้าวและเยื่อสีน้ำตาลออกเท่านั้น ในขณะที่แป้งพรีเจลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้ เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เป็นแป้งที่ได้จากการนำน้ำแป้งซึ่ง นอกจากจะขจัดส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มสีชาวมะพร้าวและเยื่อสีน้ำตาล ออกไปแล้ว ยังมีการขจัดส่วนที่เป็นชั้นสีน้ำตาลที่พบในชั้นตอน การตกตะกอนน้ำแป้งซึ่งประกอบด้วยเปลือก เส้นใย และผนัง เซลล์บางส่วน (สิรินาด ตันทเกษม, 2542) ออกก่อนนำมาเตรียม เป็นแป้งพรีเจลาทีไนซ์ นอกจากนี้พบว่าปริมาณแป้งพรีเจลาทีไนซ์ จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนในน้ำเตือดมีค่าต่ำ กว่าปริมาณแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมโดยมีค่าผลผลิตที่ได้ลดลงเมื่อระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเม็ดแป้ง ภายในเมล็ดขนุนหลุดออกมาซึ่งน้ำที่ใช้ต้มมากขึ้น จึงทำให้เม็ด แป้งบางส่วนสูญเสียไปในระหว่างการต้มส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ ได้มีค่าลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Wang *et al.* (1997) ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาต้มเมล็ดถั่วในน้ำเตือดเพิ่มขึ้น เม็ดแป้ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในเมล็ดถั่วจะหลุดออกมาซึ่งน้ำที่ใช้ต้ม เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาในส่วนของแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียม โดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่พบว่าที่ระดับอุณหภูมิบน ผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตแป้ง พรีเจลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนต่ำที่สุดคือ 17.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับ น้ำหนักเมล็ดขนุนสด อาจเป็นผลเนื่องมาจากที่ระดับอุณหภูมิ บนผิวหน้าลูกกลิ้งยังคงมีความชื้นสูงและแห้งได้ช้า จึงเกาะติดกัน

เป็นก้อนบริเวณใบมีด ทำให้สูญเสียแป้งมาก ทั้งนี้เมื่อระดับ อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 130 องศาเซลเซียส ปริมาณ ผลผลิตแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ระดับอุณหภูมิบน ผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส 2.15 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามที่ระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 130 และ 140 องศา เซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตแป้งพรีเจลาทีไนซ์แตกต่างกันอย่าง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

2. ผลการศึกษาศสมบัติทางกายภาพของเมล็ดขนุนที่เตรียมได้

2.1 ค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่าง ควบคุม และแป้งพรีเจลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุน (ตารางที่ 2) พบว่า แป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดใน น้ำเตือดมีค่าความสว่างน้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุม และมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าตัวอย่าง ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อระยะเวลาในการ ต้มเพิ่มขึ้นแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่ได้จะมีค่าความสว่างลดลง แต่มีค่า ความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผล เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการ เตรียมแป้งพรีเจลาทีไนซ์ สำหรับแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยวิธี การใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่ามีค่าความสว่างมากกว่า ตัวอย่างควบคุม และมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่อง ทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เป็นการนำส่วนของน้ำแป้งที่มีการขจัดส่วนที่ เป็นสีน้ำตาลซึ่งประกอบด้วยเปลือก เส้นใยและผนังเซลล์บางส่วน ออกไป ส่งผลให้แป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่ได้มีค่าความสว่างมากกว่า ตัวอย่างควบคุม และมีค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ต่ำกว่า เมื่ออุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งสูงขึ้น แป้งพรีเจลาทีไนซ์ ที่ได้จะมีค่าความสว่างลดลง แต่มีค่าความเป็นสีแดงและค่าความ เป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยวิธี การต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความขาวพบว่าให้ ผลเช่นเดียวกับค่าความสว่างคือ แป้งพรีเจลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุน ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด มีค่าดัชนีความขาว น้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 82.4- 84.4 ส่วนแป้งพรีเจลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้ง แบบลูกกลิ้งคู่มีค่าดัชนีความขาวมากกว่าตัวอย่างควบคุมโดยมีค่า อยู่ในช่วง 89.1-89.8

2.2 ดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำ

จากการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการ

ตารางที่ 2 ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และดัชนีความขาว (WI) ของแป้งเมล็ดขนุน

วิธีการเตรียม แป้งเมล็ดขนุน	ค่าสี*			
	(L*)	(a*)	(b*)	WI
Control	89.81 ^d ± 0.05	0.29 ^c ± 0.01	10.42 ^c ± 0.10	85.42 ^d ± 0.11
B-15	88.79 ^e ± 0.11	0.53 ^b ± 0.04	10.88 ^b ± 0.19	84.37 ^e ± 0.21
B-30	88.56 ^f ± 0.03	0.71 ^a ± 0.01	13.19 ^a ± 0.06	82.52 ^f ± 0.06
B-45	88.36 ^g ± 0.14	0.71 ^a ± 0.01	13.25 ^a ± 0.02	82.35 ^f ± 0.08
DD-120	92.07 ^a ± 0.02	0.08 ^e ± 0.01	6.47 ^f ± 0.04	89.77 ^a ± 0.02
DD-130	91.67 ^b ± 0.01	0.22 ^d ± 0.00	6.64 ^e ± 0.01	89.34 ^b ± 0.01
DD-140	91.50 ^c ± 0.01	0.24 ^d ± 0.01	6.83 ^d ± 0.02	89.10 ^c ± 0.00

a, b, c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ดูดซับน้ำของแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมและแป้งพรีเจลลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุน (ตารางที่ 3) พบว่าแป้งพรีเจลลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด และการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคูมีค่าดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งเมล็ดขนุนตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เนื่องจากโดยปกติเม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) ประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพกทินที่ถูกสร้างออกไปตามแนวรัศมีของเม็ดแป้งจากจุดไฮลัมสู่ขอบเม็ดแป้ง ภายในจะประกอบด้วยบริเวณของชั้นผลึก (Crystalline) สลับกับชั้นอสัณฐาน (Amorphous) บริเวณอสัณฐานเกิดจากส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพกทินที่มีพันธะ α -1, 6 อยู่มาก ส่วนบริเวณผลึกเกิดจากการรวมตัวของสายกิ่งขนานกันไปตามโครงสร้างคลัสเตอร์ของอะไมโลเพกทิน โดยมีอะไมโลสแทรกอยู่ในอะไมโลเพกทินการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของโมเลกุลอะไมโลเพกทินออก

ไปตรงแนวรัศมีภายในเม็ดแป้งที่มีทั้งส่วนผลึกและอสัณฐานสลับเป็นชั้นกันไปเช่นนี้ จึงทำให้สามารถมองเห็นปรากฏการณ์การหักเหของแสงสองแนวหรือไบรีฟริงเจนส์ของเม็ดแป้งได้ การหักเหของแสงสองแนวที่มองเห็นจะปรากฏเป็นกากบาทไขว้สีดำ (Maltese Cross) ตัดกันที่จุดไฮลัมของเม็ดแป้ง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดแป้งอย่างเป็นระเบียบ (วรธนา ตุลยธัญ, 2549) แต่เมื่อแป้งเมล็ดขนุนซึ่งมีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนซ์อยู่ในช่วง 73-81 องศาเซลเซียส (อมรรัตน์ มุขประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล, 2546; Tulyathan *et al.*, 2002) ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลลาทีไนซ์ ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งโดยเริ่มที่บริเวณอสัณฐานก่อน น้ำจะเข้าสู่ภายในเม็ดแป้งได้มากขึ้น และเมื่อให้ความร้อนต่อไปเป็นระยะเวลาสั้นขึ้นหรือระดับอุณหภูมิที่ใช้เพิ่มขึ้น จะมีผลให้เกิดการหลอมละลาย

ตารางที่ 3 ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งจากเมล็ดขนุน

วิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	ดัชนีการละลายน้ำ	ดัชนีการดูดซับน้ำ
Control	2.55 ^e ± 0.07	2.55 ^e ± 0.07
B-15	3.00 ^e ± 0.09	3.00 ^e ± 0.09
B-30	4.50 ^d ± 0.13	4.50 ^d ± 0.13
B-45	4.74 ^d ± 0.13	4.74 ^d ± 0.13
DD-120	18.47 ^c ± 0.30	18.47 ^c ± 0.30
DD-130	20.51 ^b ± 0.06	20.51 ^b ± 0.06
DD-140	21.35 ^a ± 0.01	21.35 ^a ± 0.01

a, b, c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

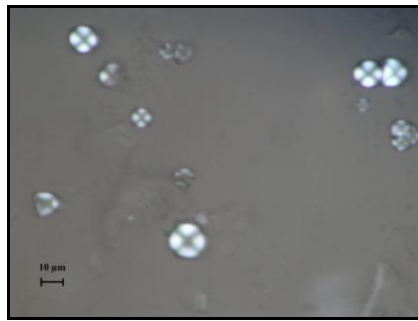
บริเวณผลึกภายในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจึงดูดซับน้ำได้มากขึ้น ด้วยเหตุนี้แป้งพรีเจลลาทีไนซ์จึงสามารถดูดซับน้ำและละลายได้ดีกว่าแป้งดิบจากเมล็ดขนุน สอดคล้องกับรายงานของ Lai (2001) ซึ่งพบว่าแป้งข้าวเจ้าพรีเจลลาทีไนซ์มีดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำสูงกว่าตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตาม แป้งพรีเจลลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำต่ำกว่าแป้งพรีเจลลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากความสามารถในการละลายและการดูดซับน้ำของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ ปริมาณน้ำหรือความชื้น และอุณหภูมิ รวมถึงความสามารถในการแพร่ของน้ำ เข้าไปก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดพืชในกรณีที่มีการนำเมล็ดพืชนั้นไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน (Fang & Chinnan, 2004) ซึ่งการเตรียมแป้งพรีเจลลาทีไนซ์โดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด เป็นการนำเมล็ดขนุนที่ประกอบไปด้วยเยื่อหุ้มสีขาวและเยื่อสีน้ำตาลมาต้มกับน้ำ การแพร่ของน้ำจากภายนอกเข้าสู่ภายในเมล็ดเพื่อไปก่อให้เกิดเจลลาทีไนซ์ของแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดขนุนจึงเป็นไปได้ยากกว่าวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่เป็นการนำน้ำแป้งมาผ่านกระบวนการเจลลาทีไนซ์ขึ้น โดยสัมผัสพื้นผิวของลูกกลิ้งโดยตรงที่อุณหภูมิสูงถึง 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น แป้งพรีเจลลาทีไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดมีดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากการใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นส่งผลให้เยื่อหุ้มสีขาวครีม และเยื่อสีน้ำตาลบางส่วนหลุดลอกออกจากเมล็ดขนุน น้ำจากภายนอกจึงสามารถเข้าไปก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดได้มากขึ้นเช่นเดียวกับเมื่อใช้อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น แป้งพรีเจลลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย หมู่ไฮดรอกซิลภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งจึงสามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้แป้งสามารถดูดซับน้ำและละลายน้ำได้มากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Yadav *et al.* (2006) ซึ่งได้ศึกษาผลของอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อสมบัติการละลายของแป้งมันเทศ พบว่าเมื่อระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น แป้งมันเทศจะมีดัชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส แป้งมันเทศมีดัชนีการละลายน้ำเท่ากับ 43.1 เปอร์เซ็นต์

2.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและลักษณะไบรีฟริงเจนส์ของเม็ดแป้ง

จากการวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและลักษณะไบรีฟริงเจนส์ของเม็ดแป้ง พบว่าแป้งดิบจากเมล็ดขนุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งอยู่ในช่วง 7.5-12.5 ไมโครเมตร (ภาพที่ 1 (ก)) แต่เมื่อนำเมล็ดขนุนมาเตรียมเป็นแป้งพรีเจลลาทีไนซ์โดยใช้วิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดและการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่าระยะเวลาในการต้ม และระดับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้ง กล่าวคือเมื่อต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดเป็นเวลา 15 นาที (ภาพที่ 1 (ข)) พบว่าเม็ดแป้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 2.0-2.8 เท่า เมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งตัวอย่างควบคุม และเมื่อให้ความร้อนต่อไปเป็นระยะเวลานานขึ้นหรือระดับอุณหภูมิที่ใช้เพิ่มขึ้น จะมีผลให้เกิดการหลอมละลายบริเวณผลึกภายในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจึงดูดซับน้ำได้มากขึ้น จนเม็ดแป้งขยายเต็มที่และควมมีระเบียบของโครงสร้างภายในถูกทำลายหมดไป ดังภาพที่ 1 (ค) ถึง 1 (ช) จะเห็นได้ว่าเมื่อต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดเป็นเวลา 30 และ 45 นาที เม็ดแป้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 3.8-4.8 และ 4.3-5.5 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งตัวอย่างควบคุม ในขณะที่แป้งพรีเจลลาทีไนซ์จากเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ไม่สามารถวัดขนาดของเม็ดแป้งได้ เนื่องจากเม็ดแป้งเกิดการขยายขนาดจนกระทั่งสูญเสียโครงสร้างของเม็ดแป้งและไบรีฟริงเจนส์ จึงกล่าวได้ว่าการเกิดเจลลาทีไนซ์ของแป้ง คือ กระบวนการที่ทำลายอันดับ (Order) โมเลกุลหรือระเบียบโมเลกุลภายในเม็ดแป้ง เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติแบบไม่ผันกลับ ได้แก่ การขยายขนาดของเม็ดแป้ง การหลอมละลายผลึก การสูญเสียไบรีฟริงเจนส์ (Loss of Birefringence) และเกิดการละลายของแป้ง (วรรณง ฤกษ์ชัย, 2549)

2.4 ระดับการเกิดเจลลาทีไนซ์และความหนืด

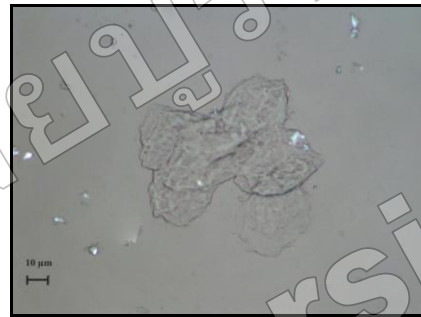
จากการวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาทีไนซ์ของแป้งเมล็ดขนุนและความหนืดของน้ำแป้งเมล็ดขนุนพบว่าแป้งพรีเจลลาทีไนซ์ทุกตัวอย่างมีระดับการเกิดเจลลาทีไนซ์สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับการทดลองของ Beleia *et al.* (2006) ที่พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการต้มมันสำปะหลังสายพันธุ์ IAPAR-19 Pioneira จาก 3 นาที เป็น 12 นาที ในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส มีระดับการเกิดเจลลาทีไนซ์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้น



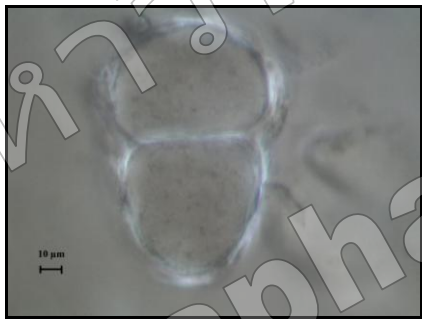
(ก)



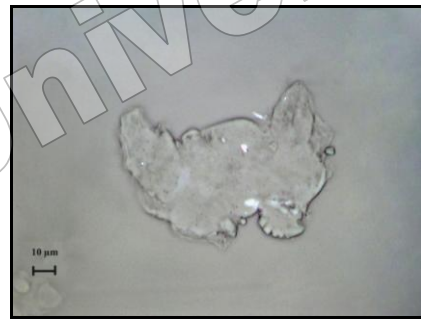
(ข)



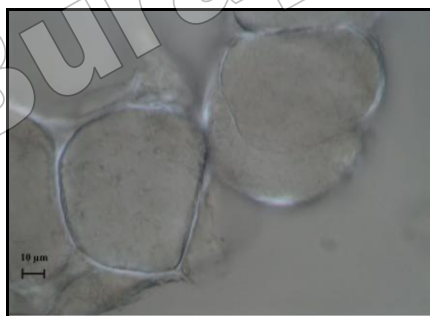
(ค)



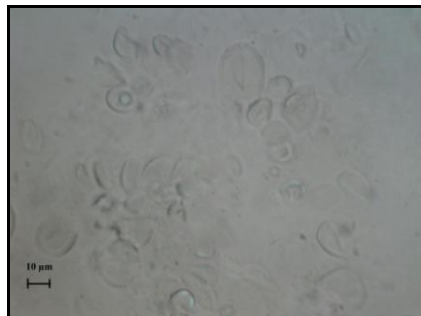
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)

ภาพที่ 1 ลักษณะไปรีฟริงเจนส์จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของเม็ดแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยวิธี Control (ก) B-15 (ข) B-30 (ค) B-45 (ง) DD-120 (จ) DD-130 (ฉ) DD-140 (ช)

ตารางที่ 4 ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อระดับการเกิดเจลาทีโนสของแป้งเมล็ดขนุน และความหนืดของน้ำแป้งจากเมล็ดขนุน

วิธีการเตรียม แป้งเมล็ดขนุน	ระดับการเกิดเจลาทีโนส (เปอร์เซ็นต์)	ความหนืดของน้ำแป้ง (เซนติพอยส์)
Control	0.71 ^f ± 0.24	2.53 ^g ± 0.43
B-15	16.70 ^e ± 0.32	13.02 ^f ± 0.37
B-30	30.54 ^d ± 0.56	72.79 ^e ± 0.60
B-45	30.61 ^d ± 0.48	83.16 ^d ± 0.29
DD-120	80.79 ^c ± 0.23	561.76 ^c ± 8.08
DD-130	85.07 ^b ± 0.06	606.79 ^b ± 4.52
DD-140	88.96 ^a ± 0.15	653.81 ^a ± 6.08

a, b, c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จาก 63.8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 98.0 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า แป้งพรีเจลาทีโนสทุกตัวอย่างมีความหนืดสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (p<0.05) (ตารางที่ 4) โดยเมื่อใช้ระยะเวลาในการต้มเมล็ดขนุน และอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแป้งพรีเจลาทีโนสที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีความหนืดสูงกว่าแป้งพรีเจลาทีโนสที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด 10.0-11.6 เท่า และสูงกว่าตัวอย่างควบคุม 222.0-258.4 เท่า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่แป้งเมล็ดขนุนเกิดเจลาทีโนสมากขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำและพองตัวมากขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งลดน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ส่วนผสมของน้ำแป้งจึงมีความหนืดมากขึ้น (Zhang et al., 1997) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลาทีโนสของแป้งเมล็ดขนุน ดังจะเห็นได้จากสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเจลาทีโนส (X) และความหนืดของน้ำแป้งจากเมล็ดขนุน (Y) คือ $Y = -105.72 + 8.20X$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.96 จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งเมล็ดขนุน เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดขนุนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปและบริโภคขนุนต่อไป

สรุปผลการวิจัย

แป้งพรีเจลาทีโนสที่เตรียมโดยวิธีการใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าความสว่าง ดัชนีความขาว ดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ ระดับการเกิดเจลาทีโนสและความหนืดของน้ำแป้งสูงกว่าตัวอย่างควบคุม และแป้งพรีเจลาทีโนสที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด แต่มีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองต่ำกว่า (p<0.05) นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของ

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ยังส่งผลให้แป้ง พรีเจลาทีโนสมีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ ระดับการเกิดเจลาทีโนสและความหนืดสูงขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก คณะวิทยาศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2552

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2551). *สถิติการผลิตการเกษตรตามแหล่งปลูก (ทั้งหมด) พืชขนุน ปีปฏิทิน 2549-2550 ทั้งประเทศ*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณา ตูลยธัญ. (2549). *เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สิรินาด ตันชาเกษม. (2542). *สมบัติของแป้งจากเมล็ดทุเรียนและการนำไปใช้ประโยชน์*. รายงานการวิจัยสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- อมรรัตน์ मुखประเสริฐ และกมลทิพย์ สัจจอนันตกุล. (2546). *ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดแป้งจากเมล็ดขนุน*. ใน *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 5*. กรุงเทพฯ.

- Abbas, F. M. A., Saifullah, R., & Azhar, M. E. (2009). Assessment of physical properties of ripe banana flour prepared from two varieties: Cavendish and Dream banana. *International Food Research Journal*, 16, 183-189.
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4-12.
- Beleia, A., Butarelo, S. S., & Silva, R. S. F. (2006). Modeling of starch gelatinization during cooking of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.). *LWT-Food Science and Technology*, 39, 399-404.
- Birch, G. G., & Priestley, R. J., (1973). Degree of gelatinization of cooked rice. *Die Starke*, 25(3), 98-101.
- Fang, C., & Chinnan, M. S. (2004). Kinetics of cowpea starch gelatinization and modeling of starch gelatinization during steaming of intact cowpea seed. *LWT-Food Science and Technology*, 37, 345-354.
- Lai, H. M. (2001). Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry*, 72, 455-463.
- Li, M., & Lee, T.C. (1996). Effect of cysteine on the functional properties and microstructure of wheat flour extrudates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1871-1880.
- Tulyathan, V., Tananuwong, K., Songjinda, P., & Jaiboon, N. (2002). Some physicochemical properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed flour and starch. *Science Asia*, 28, 37-41.
- Wang, N., Lewis, M. J., Brennan, J. G., & Westby, A. (1997). Effect of processing methods on nutrients and anti-nutritional factors in cowpea. *Food Chemistry*, 58, 59-68.
- Yadav, A. R., Guha, M., Tharanathan, R. N., & Ramteke R. S. (2006). Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. *LWT-Food Science and Technology* 39, 20-26.
- Zhang, D., Doehlert, D. C., & Moore, W. R. (1997). Factors affecting viscosity of slurries of oat groat flours. *Cereal Chemistry*, 74(6), 722-726.