

การแปรสภาพแป้งข้าวเหนียวด้วยวิธีแอซิติลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม เพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด

Acetylation and Cross-Link Modification of Waxy Rice Starch to be Used as Thickening Agent

นุชจรา แซ่ตั้ง (Nutchara Satang)* วรณุช ศรีเจษฎารักษ์ (Voranuch Srijessadaruk)**

ดร.เกษม นันทชัย (Dr.Kasem Nantachai)*** ดร.วิเชียร วรพุทธร (Dr.Wichian Voraputhaporn)****

บทคัดย่อ

การแปรสภาพแป้งข้าวเหนียวด้วยวิธีแอซิติลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของไวนิลแอซิติลเตด ในช่วงร้อยละ 2-6 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตในช่วงร้อยละ 0.01-0.05 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามในช่วง 10-30 นาที จากการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพกับแป้งข้าวเหนียวพบว่า ความหนืดสูงสุด ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน และความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพมีค่ามากกว่าและแตกต่างจากแป้งข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรสภาพแป้งข้าวเหนียวเพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด พบว่าความเข้มข้นของไวนิลแอซิติลเตดที่ระดับสูงซึ่งมีผลทำให้ความหนืดสูงสุด ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน และความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดและอุณหภูมิในการเกิดเจลมีค่าลดลง, ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่ำมีผลทำให้ความหนืดสูงสุด ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน ความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดและอุณหภูมิในการเกิดเจลลดลง, ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามที่ระดับสูงซึ่งมีผลทำให้ความหนืดสูงสุด ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน ความหนืดสุดท้าย ค่าการคืนตัว และความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดและอุณหภูมิในการเกิดเจลลดลง จากสมบัติของสารให้ความข้นหนืดที่ต้องการความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายมีค่าสูงในขณะให้ความร้อนและความเย็น (heating-cooling cycle) ดังนั้นจึงคัดเลือกสภาวะการแปรสภาพแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะความเข้มข้นของไวนิลแอซิติลเตดที่ระดับสูง (ร้อยละ 6) ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่ำ (ร้อยละ 0.01) และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามที่ระดับสูง (30 นาที) ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายที่สูงในขณะให้ความร้อนและความเย็น นอกจากนี้แป้งแปรสภาพที่ได้จากสภาวะดังกล่าว ยังมีค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดที่ต่ำและค่าการคืนตัวสูง จากการศึกษาความคงตัวต่อกรด (pH 2-2.5) และความไวรอบในการกวน (20-100 รอบต่อนาที) โดยทำการวัดค่าความหนืดของแป้ง แผนการทดลองที่ใช้คือ 3^2 Factorial in CRD พบว่าค่าความหนืดของแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพคัดเลือกมีค่าสูงกว่าและแตกต่างจากแป้งข้าวเหนียวเมื่อทำการทดสอบในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นและความไวรอบในการกวนลดลง โดยเมื่อทดสอบที่พีเอช 2 และความไวรอบในการกวน 100 รอบต่อนาที แป้งมีความหนืด 590 เซนติพอยส์ จากการศึกษาความคงตัวต่อการแช่แข็ง/ละลายของแป้งทั้งสองชนิดจำนวน 20 รอบ พบว่าความคงตัวต่อการแช่แข็ง/ละลายในรอบที่ห้าถึงรอบที่เก้า แป้งข้าวเหนียวมีร้อยละของน้ำที่ซึมออกมาจากเจลมากกว่าและแตกต่างจากแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพคัดเลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากข้อมูลดังกล่าวจึงจะนำแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพคัดเลือกไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ได้

*นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ABSTRACT

Modification of waxy rice starch by acetylating with 2–6% (dry basis) of vinyl acetate and then cross-linking with 0.01–0.05% (dry basis) of sodiumtrimetaphosphate for 10–30 min was studied. The physical and chemical properties of the modified waxy rice starch were determined and compared to those of native waxy rice starch. Modified waxy rice starch showed higher values of peak viscosity, trough and final viscosity than those of waxy rice starch ($p<0.05$). At high level of vinyl acetate concentration, the modified waxy rice starch showed high values of peak viscosity, trough and final viscosity, but low values of breakdown and low pasting temperature. Similar results were also found at low level of sodiumtrimetaphosphate concentration as well as high set back value. At long reaction time results showed that the values of peak viscosity, trough, final viscosity, set back and water holding capacity were increased while, breakdown value and pasting temperature were decreased. The condition of modification at 6% vinyl acetate; 0.01% sodiumtrimetaphosphate and 30 mins of reaction time was considered as an optimum condition, providing product with high peak viscosity, final viscosity and set back and low breakdown during heating-cooling cycle. In addition, the stability of the modified waxy rice starch in acid (pH 2–2.5) and agitating speed (20–100 rpm.) was studied using 3^2 factorial experiments in a completely randomized design. Modified waxy rice starch showed higher viscosity than waxy rice starch ($p<0.05$) and the viscosity was increased with pH increment and decreased agitating speed. At pH of 2 and agitating speed of 100 rpm. product viscosity was 590 cp. On freeze/thaw stability study, the modified waxy rice starch had significant higher syneresis than waxy rice starch ($p<0.05$) at the fifth to ninth cycles of the twenty cycles. The modified waxy rice starch may be used as thickening agent in various food products.

คำสำคัญ: แป้งข้าวเหนียว การดัดแปรแป้งด้วยวิธีเชื่อมข้าม การดัดแปรแป้งด้วยวิธีทางเคมีแบบการแทนที่

Keywords: waxy rice starch, Cross-linking, Substitution

บทนำ

ข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักของคนไทยอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือจากข้าวเจ้า นิยมปลูกและบริโภคในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณการส่งออกเป็นอันดับสองรองจากแป้งมันสำปะหลัง นอกจากจะนำแป้งข้าวเหนียวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แล้ว ยังสามารถนำมาผลิตเป็นสตาร์ชเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickener) ในผลิตภัณฑ์ซูปกระป๋อง เกรวี่ อาหารเด็กอ่อน พุดดิ้ง แป้งจะทำหน้าที่ให้ความข้นหนืด (thickness) คือ เพิ่มความเหนียวและความหนืดทำให้เกิดเป็นก้อนเหนียว (cohesive) และให้ความคงตัว (stability) แก่ผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่าแป้งจะมีสมบัติดังกล่าวนี้ แป้งที่ยังไม่แปรรูป (native starch) มีข้อจำกัดในการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี ไม่มีความคงทนต่อความร้อนแรงเฉือน กรดเมื่อผ่านกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อให้ได้สมบัติของแป้งตามความต้องการในผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีการพัฒนาการแปรรูปแป้งขึ้น โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของ

แป้งข้าวเหนียวเบื้องต้น แล้วเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียวแปรรูปด้วยวิธีเอซีทิลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม เพื่อทำการคัดเลือกแป้งข้าวเหนียวแปรรูปที่เหมาะสม โดยมีขอบเขตของการวิจัย คือ การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว การศึกษาการแปรรูปแป้งข้าวเหนียวด้วยวิธีเอซีทิลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม การศึกษาการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวที่แปรรูปได้โดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียว และสรุปผลและคัดเลือกแป้งข้าวเหนียวแปรรูปที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้แป้งข้าวเหนียวแปรรูปที่มีสมบัติเพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง อาหารที่ต้องเติมกรดและผ่านแรงเฉือน

วิธีการศึกษา

ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว โดยทำการเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวที่ขอความอนุเคราะห์แป้งจากบริษัท A และบริษัท B ซึ่งจะทำการตรวจสอบสมบัติของเพสต์ (Pasting

Property) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer กำลังการพองตัว (Swelling Power) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพื่อทำการคัดเลือกแป้งไปแปรรูป ทำการศึกษาการแปรรูปแป้งข้าวเหนียวด้วยวิธีการดัดแปรแบบแอซีทิลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม โดยมีปัจจัยที่เลือกมาทำการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของไวนิลแอซีเตต (ร้อยละ 2,4,6) , ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ 0.01,0.03,0.05) และ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาแบบเชื่อมข้าม (10,20,30 นาที) แผนการทดลองที่ใช้คือ Central Composite Design ดังนั้นจึงมีการดัดแปรแป้งข้าวเหนียวทั้งสิ้น 18 แผนการทดลอง จากนั้นทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งข้าวเหนียวแปรรูปโดยเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียวซึ่งจะทำการตรวจสอบเหมือนในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว และตรวจสอบระดับการเกิดปฏิกิริยาแอซีทิลเลชัน ระดับการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามร่วมด้วย จากนั้นทำการสรุปผลการแปรรูปแป้งข้าวเหนียว ซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 10.0 for Windows ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อนำแป้งที่ได้ไปทดสอบความคงตัวต่อการกรดและความเร็วรอบในการกวน โดยตรวจสอบค่าความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Brookfield โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือ พีเอช (2.0, 2.25,2.5) และความเร็วรอบในการกวน (20,60,100 รอบต่อนาที) แผนการทดลองที่ใช้คือ 3^2 Factorial in CRD ดังนั้นมีการทดลองทั้งสิ้น 12 การทดลอง และทำการทดสอบความคงตัวต่อการแช่แข็ง-ละลายจำนวน 20 รอบ จากนั้นวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 10.0 for Windows ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

ผลการเตรียมตัวอย่างแป้งโดยขอความอนุเคราะห์แป้งจากบริษัท A และบริษัท B พบว่าแป้งข้าวเหนียวจากบริษัท A มีสมบัติกำลังการพองตัว ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน ค่าการคืนตัว ความหนืดสุดท้าย ที่มากกว่าบริษัท B ดังนั้นจึงคัดเลือกแป้งจากบริษัท A เพื่อนำ

มาแปรรูปและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีกับแป้งข้าวเหนียวแปรรูปซึ่งพบว่าความหนืดสูงสุด ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน และความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวเหนียวแปรรูปมีค่ามากกว่า และแตกต่างจากแป้งข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากนั้นหาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปแป้งข้าวเหนียวเพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของไวนิลแอซีเตตที่ระดับสูงขึ้นไปจะทำให้ความหนืดสูงสุด ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน และความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดและอุณหภูมิในการเกิดเจลมีค่าลดลง, ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่ระดับต่ำมีผลทำให้ความหนืดสูงสุด ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน ความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดและอุณหภูมิในการเกิดเจลลดลง, ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามที่ระดับสูงขึ้นไปมีผลทำให้ความหนืดสูงสุด ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน ความหนืดสุดท้าย ค่าการคืนตัว และความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดและอุณหภูมิในการเกิดเจลลดลง ดังนั้นจึงคัดเลือกแป้งข้าวเหนียวแปรรูปที่มีความเข้มข้นของไวนิลแอซีเตตในระดับสูง (6%) ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตในระดับต่ำ (0.01%) และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามในระดับสูง (30 นาที) ซึ่งมีสมบัติความหนืดสูงสุด 246.58 RVU, ค่าคงตัวความหนืดของแป้ง 96.33, ความหนืดจุดต่ำที่สุดระหว่างการให้ความร้อน 150.25 RVU, ความหนืดสุดท้าย 168.31 RVU, อุณหภูมิในการเกิดเจล 69.52 องศาเซลเซียส, กำลังการพองตัว 11.49, ปริมาณหมู่ฟอสฟอรัสและปริมาณหมู่แอซีทิล คือ 0.0036% และ 1.5% ตามลำดับ (อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของมอก.) ซึ่งมีค่าที่แตกต่างจากแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังรูปที่ 1 เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วนำแป้งไปทดสอบความคงตัวต่อการกรดและความเร็วรอบในการกวนพบว่าค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นและความเร็วรอบในการกวนลดลง และยังพบว่าค่าความหนืดของแป้ง

ข้าวเหนียวแปรสภาพมีค่าที่สูงกว่าและแตกต่างจากแป้งข้าวเหนียวที่คัดเลือกเมื่อทดสอบในสภาวะเดียวกัน และนำมาทดสอบความคงตัวต่อการแช่แข็ง/ละลายพบว่าความคงตัวต่อการแช่แข็ง/ละลายในรอบที่ห้าถึงรอบที่เก้าแป้งข้าวเหนียวจะมีร้อยละของน้ำที่ซึมออกมาจากเจลมากกว่าและแตกต่างจากแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพที่คัดเลือก ดังรูปที่ 2

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้ต้องการแป้งที่จะนำไปแปรสภาพเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารให้ความชื้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง หรืออาหารที่ต้องมีความคงตัวต่อการแรงเฉือน คือแป้งแปรสภาพที่ได้จะต้องมีความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายที่สูง ดังนั้นจึงคัดเลือกแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพที่มีความเข้มข้นของไวโนลแอซีเทตในระดับสูง (6%) ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตในระดับต่ำ (0.01%) และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามในระดับสูง (30 นาที) พบว่าแป้งที่คัดเลือกมีความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายที่สูงเนื่องจากมีหมู่แอซีทิลเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชได้มากขึ้น ทำให้โมเลกุลสตาร์ชไม่ยึดเกาะกัน จึงทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปแทรกอยู่ภายในโมเลกุลสตาร์ชได้มากขึ้น และเมื่อนำไปทดสอบกับกรดและความเร็วรอบในการกวน พบว่าค่าความหนืดของแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเหนียวเนื่องจากแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพมีความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่สูงกว่า จึงสามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างโมเลกุลแป้งได้มากกว่า ดังนั้นโครงสร้างของแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพจึงมีความแข็งแรงมากกว่าแป้งข้าวเหนียว และเมื่อนำแป้งไปทดสอบความคงตัวต่อการแช่แข็ง/ละลายพบว่าแป้งข้าว

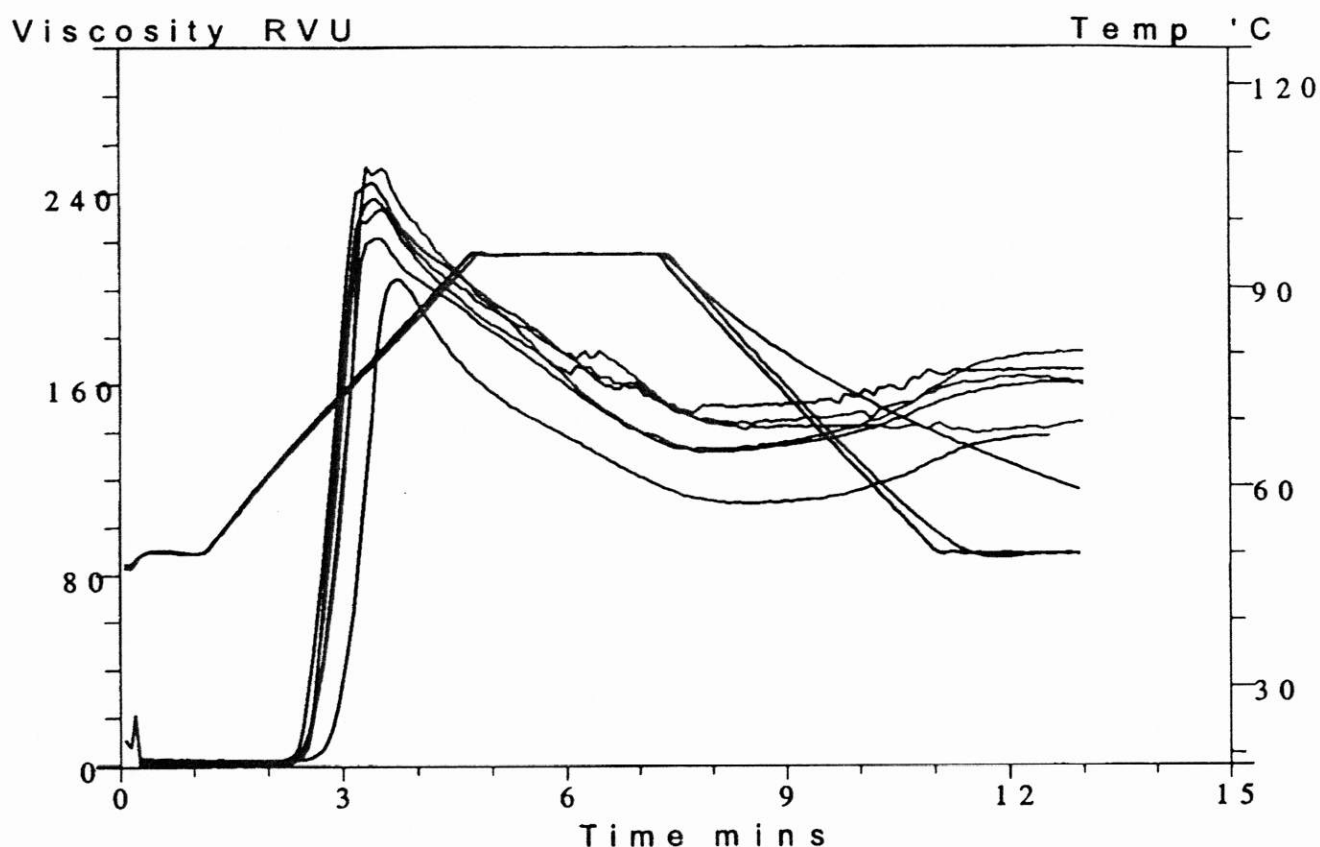
เหนียวแปรสภาพมีร้อยละของน้ำที่ซึมออกมาน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียว เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพมีค่าการคั่นตัวที่สูงกว่าแป้งข้าวเหนียว จึงมีความคงตัวของเจลมากกว่าเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิแช่แข็ง ดังนั้นแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพจึงสามารถป้องกันการซึมออกมาของน้ำได้ดีกว่าแป้งข้าวเหนียว จากข้อมูลดังกล่าวจึงสามารถนำแป้งข้าวเหนียวแปรสภาพไปประยุกต์ใช้เป็นสารให้ความชื้นหนืดได้ในผลิตภัณฑ์ซูปรีฟรอส อาหารเด็กอ่อน พุดดิ้ง และสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งได้ เช่น ไส้พาย น้ำสลัด

กิตติกรรมประกาศ

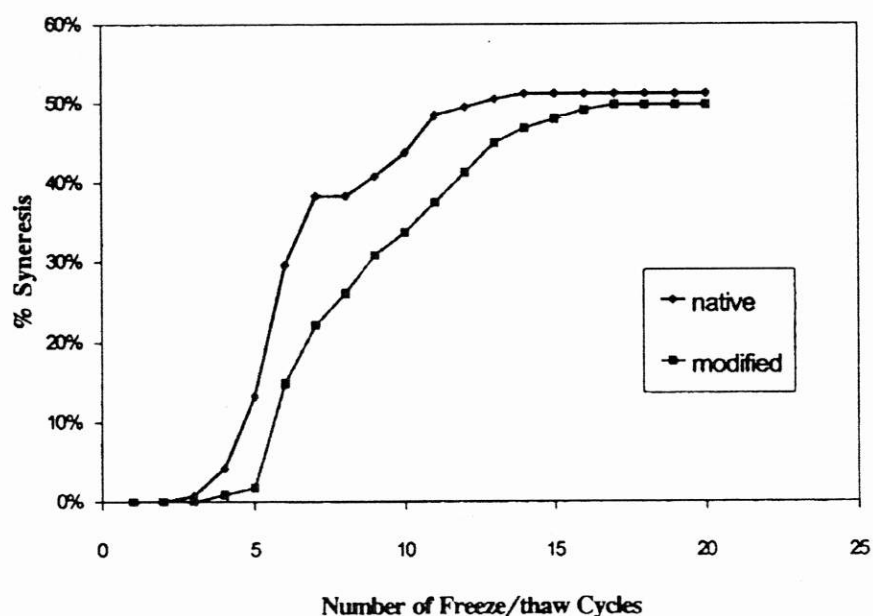
งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย ปีการศึกษา 2545

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เอกสาร มอก. ที่ 1073-2535. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 11น. 2535.
- JU, J. and Mittal, G.S. 1995. Physical property of various starch based fat-substitutes. *J. of Food Proc. And Pres.* 19:361-383.
- Subramanian, V. and Hoseney, R.C. 1994. Bramel-Cox P. Shear thinning properties of sorghum and corn starches. *Cereal Chem.* 71:272-275.
- Wu, Y. and Seib, P.A. 1990. Acetylation and hydroxypropylate distarch phosphates from waxy barley: paste properties and freeze thaw stability. *Cereal Chem.* 67(2):202-208.



ภาพที่ 1 ความหนืดของแป้งข้าวเหนียวแปรรูปในการทดลองที่ 3 (สีเขียว, $V=2$, $N=0.05$, $T=10$), การทดลองที่ 5 (สีชมพู, $V=6$, $N=0.01$, $T=10$), การทดลองที่ 6 (สีน้ำเงิน, $V=6$, $N=0.01$, $T=30$) (สภาวะที่คัดเลือก), การทดลองที่ 10 (สีม่วง, $V=7.36$, $N=0.03$, $T=20$) และการทดลองที่ 15 (สีแดง, $V=4$, $N=0.03$, $T=20$) เปรียบเทียบกับความหนืดของแป้งข้าวเหนียวจากบริษัท A (สีดำ); V คือ ไวนิลแอสซีเทต, N คือ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต และ T คือ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำที่ซึมออกมา (% Syneresis) กับจำนวนรอบของการแช่แข็ง/ละลาย (Number of Freeze/thaw Cycles)