

บทคัดย่อ

แป้งมันสำปะหลัง (TS) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเป็นส่วนประกอบของอาหารในการเป็นสารให้ความหนืด เนื่องจากมีราคาถูก ลักษณะเจลแบ่งที่ได้ใส การผสมแป้งมันสำปะหลังกับไซโคลลูแคน (XG) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้เพื่อให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสตามต้องการ และมีความคงตัวต่อการกวน รวมทั้งคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนน้ำตาลและเกลือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตอาหาร การศึกษาลักษณะของระบบของผสมที่มีไฮโดรคอลลอยด์ และแป้ง โดยมีน้ำตาล เกลือ เป็นส่วนประกอบจึงมีความสำคัญต่อการนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของไซโคลลูแคน น้ำตาล และ เกลือต่อสมบัติด้านกายภาพโดยเฉพาะด้านรีโอโลยีและการเปลี่ยนแปลงทางด้านความร้อนของแป้งมันสำปะหลัง

งานวิจัยในตอนหนึ่งเป็นการศึกษาลักษณะทางด้านรีโอโลยีและด้านความร้อนของของผสม (dispersions) ระหว่างแป้งมันสำปะหลัง (TS) กับไซโคลลูแคน (XG) โดยวิธีการรีโอเมทรีที่เป็นทั้ง dynamic และ steady shear และวิธี DSC (differential scanning calorimetry) เพื่อศึกษาผลของ XG ต่อการเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชันของ TS พบว่า ความหนืดของเจล TS ที่ผสม XG (โดยมีความเข้มข้นรวมคงที่ 3.5% w/w) หลังการเจลาติไนเซชันทันทีนั้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ XG เพิ่มขึ้น เจลของ TS ที่ไม่มีการเติม XG มีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic ที่ค่า shear rate ต่ำ และมีพฤติกรรมการไหลแบบ dilatant เมื่อ shear rate สูงกว่า 1 s^{-1} โดยของผสมที่เติม XG ไม่แสดงลักษณะ dilatant เมื่อศึกษาสมบัติด้วยการวัด dynamic test พบว่า mechanical spectra ของเพสต์ (pastes) TS ผสม XG แสดงสมบัติที่เป็นของเหลวซึ่งเรียกว่า liquid-like มากกว่าเพสต์ของ TS เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาผลการเก็บรักษา พบว่า XG ให้ความคงตัวด้าน shear แก่เพสต์ของ TS ดีขึ้น และการเพิ่มขึ้นของค่า dynamic moduli ในเพสต์ TS ที่เก็บ ณ 5°C ลดลงเมื่อมี XG ผสมอยู่ด้วย ในทางตรงกันข้าม เมื่อศึกษาสมบัติด้วย DSC พบว่า อัตราส่วนรีโทรกราเดชัน (retrogradation ratio) จาก DSC มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในช่วงแรกเมื่อมี XG แสดงให้เห็นว่า XG ทำให้เกิดเฟสต่อเนื่องที่เป็นของเหลวในของผสมซึ่งให้ความคงตัวทางกลดีขึ้นในระหว่างการเก็บ แต่จะเร่งการจัดเรียงตัวของพอลิแซ็กคาไรด์แบ่งจากการที่ปริมาณน้ำที่แป้งจะนำไปใช้ได้ลดน้อยลง

ในขั้นต่อมาเป็นการศึกษาผลของ XG ต่อการเกิดเจลาติไนเซชันของ TS ด้วยความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด (TS และ XG) 5% ศึกษาด้วย Rapid Visco-Analyzer (RVA) และรีโอมิเตอร์ทั้งแบบ steady shear และ dynamic shear พบว่า จากกราฟ RVA ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และ ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ XG ในระบบเพิ่มขึ้น โดยผลจาก steady shear ค่าความหนืดของเพสต์ของผสม TS และ XG สูงกว่าของเพสต์จากแป้ง TS เพียงอย่างเดียว โดยกราฟการไหลที่ได้เป็น shear thinning เมื่อให้ความร้อนแก่แป้งที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว พบว่า ความหนืดปรากฏลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ณ shear rate 50 s^{-1} เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด ณ shear rate 50 s^{-1} ด้วยการสร้างกราฟอาร์เรเนียส พบว่า พลังงานกระตุ้น (E_a) ของระบบของผสม TS และ XG ให้ค่าต่ำกว่าของแป้งเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่า XG ปรับปรุงคุณภาพด้านความคง

ตัวที่เกี่ยวกับความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ค่า loss tangent (G''/G') ที่ระบุสมบัติที่คล้ายของเหลว (liquid-like) ของของผสม TS และ XG เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ XG เพิ่มขึ้น ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า XG ให้ความหนืดสูงขึ้น มีความคงตัวทางด้านความร้อน และให้สมบัติทางรีโอโลยีที่คล้ายของเหลวต่อของผสมที่ผ่านการเจลาติไนส์แล้ว

จากการศึกษาผลของซูโครสต่อลักษณะทางกายภาพของระบบ TS เพียงอย่างเดียวและระบบของผสม TS และ XG (สัดส่วน 9:1) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แบ่งเป็นส่วนประกอบ โดยการเตรียมของผสม TS ให้มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ 25% ที่มี XG 0 และ 2.5% w/w และซูโครส 0 ถึง 20% w/w และติดตามการเกิดเจลาติไนเซชันของเพสต์ TS เพียงอย่างเดียวและเพสต์ TS และ XG ความเข้มข้นรวม 25% ด้วย DSC รวมทั้งเจลของ TS อย่างเดียวและเจลของ TS และ XG ที่มีความเข้มข้นพอลิแซคคาไรด์รวม 25% มีซูโครส 0, 10 หรือ 20% w/w และเตรียมให้อยู่ในรูปของทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 mm วัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย texture profile analysis (TPA) หลังเก็บไว้ ณ 5°C 24 ชม โดยตัดทรงกระบอกให้มีความสูง 20 mm พบว่า อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (T_o , T_p , T_c) เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของซูโครสเพิ่มขึ้น ค่า T_o และ T_p เคลื่อนไปที่อุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อมี XG ในดิสเพอร์ชัน (dispersion) โดยเอนทัลปีของเจลาติไนเซชันของเพสต์ที่มีซูโครส 20% w/w มีค่าสูงขึ้นทั้งระบบที่เป็น TS เพียงอย่างเดียวและระบบของผสม TS และ XG (สัดส่วน 9:1) ซูโครสมีผลทำให้ความแข็งทั้งค่า hardness และ stiffness มากขึ้น การใช้ XG แทนในแป้ง TS ลดความแข็งแต่เพิ่มค่า cohesiveness ของเจลแสดงให้เห็นว่า XG ลดความแข็งของโครงสร้างตาข่ายด้วยการลดการเกิดโครงสร้างของอะไมโลสใน TS และซูโครสทำให้เจลแข็งแรงขึ้นและชะลอการเจลาติไนเซชันของ TS ด้วย

ผลของเกลือ (0 ถึง 4%) ต่อสมบัติทางกายภาพของระบบ TS เพียงอย่างเดียวและระบบของผสม TS และ XG (สัดส่วน 9:1) ที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ 5% พบว่า RVA pasting profiles ให้ค่า pasting temperatures เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเกลือ NaCl, KCl, $CaCl_2$ เพิ่มขึ้น อุณหภูมิของเจลาติไนเซชันจากการวัดด้วย dynamic แสดงค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าที่วัดได้จาก DSC โดย G' จากการวัด dynamic test ณ 5°C ของวงจรที่ทำให้เย็นลงหลังการให้ความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันแม้ความเข้มข้นเกลือแตกต่างกัน เอนทัลปีของการเจลาติไนเซชันจาก DSC แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีเกลือในระบบสูงขึ้น

ผลจากการศึกษานี้ จะใช้ในการปรับปรุงระบบอาหารที่มีความคงตัวและมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต

ABSTRACT

Tapioca starch (TS) is used in the food industry as a thickening agent because of high viscosity and clear appearance of its gelatinized paste. Blending of TS with xyloglucan (XG) is a technique to maintain desirable texture and improve the stability to shear during storage. Sucrose and salts are major ingredients in the food formulations. Mixed systems of sucrose or salts, hydrocolloids and starch were interested to characterize for further food application. The objectives of this study are to investigate effect of XG, sucrose and salts on the rheological and thermal properties of the tapioca starch.

The first part of this study was to investigate TS/XG rheological and thermal properties. Dynamic and steady shear rheometry and differential scanning calorimetry (DSC) were used to investigate effects of xyloglucan (XG) on gelatinization and retrogradation of tapioca starch (TS). The viscosity of TS/XG pastes immediately after gelatinization increased with increasing XG content at the total polysaccharide concentration of 3.5%. Gelatinized TS alone showed pseudoplastic flow at low shear rates and dilatant behavior at higher shear rates (about $>1 \text{ s}^{-1}$), while mixtures with XG did not show dilatancy. Mechanical spectra of TS pastes containing XG were more liquid-like than those of TS pastes without XG. XG provides shear stability to the TS during storage. Increases in dynamic moduli during storage at 5°C were suppressed in the presence of XG. In contrast, the retrogradation ratio determined based on DSC increased more rapidly in the presence of XG. These results suggest that XG forms a continuous liquid phase in a mixture to impart better mechanical stability during storage but to accelerate reordering of starch polysaccharides by effectively reducing the amount of water available for starch.

Effects of xyloglucan (XG) on heat-induced gelatinization of tapioca starch (TS) were investigated using a Rapid Visco-Analyzer (RVA) and steady and dynamic shear rheometer. RVA pasting tests were conducted at the total polysaccharide concentration of 5% (w/w) and revealed that peak and final viscosities increased with increasing XG concentration. In steady shear experiments, viscosity values of gelatinized TS/XG mixtures were generally higher than those of gelatinized individual TS pastes, while both samples showed shear thinning behavior. When gelatinized samples were reheated, the apparent viscosities at 50 s^{-1} decreased with increasing temperature. Arrhenius plotting of the apparent viscosities at 50 s^{-1} resulted in a lower activation energy (E_a) value of a TS/XG mixture compared to that of TS alone, suggesting improved heat-stability of the mixtures. The mechanical loss tangent (G''/G') of the TS/XG mixtures increased with increasing XG concentration. The present results confirmed that XG imparted more viscous, heat-stable, and liquid-like rheological properties to the gelatinized mixtures.

The effect of sucrose on the physical properties of TS and TS/XG dispersions was investigated to improve the physical property of starch-based products. TS dispersions at total polysaccharide concentration of 25% containing xyloglucan (0 and 2.5 % w/w) and sucrose (0 to 20 % w/w) and were prepared. Gelatinization behavior was monitored using a differential scanning calorimeter. Gelatinized pastes containing 25% w/w polysaccharides and 0, 10, or 20% w/w sucrose were prepared in plastic cases to form cylindrical gels with 22 mm in diameter. The gels were kept at 5°C for 24 h and cut into 20 mm in height for texture profile analysis (TPA). Gelatinization temperatures (T_o , T_p , T_c) at both TS/XG mixing ratios (10/0 and 9/1) increased with increasing sucrose concentration. The onset

and peak temperatures slightly shifted to higher temperatures in the presence of XG. The gelatinization enthalpy of pastes containing 20 % w/w sucrose showed a higher value for both mixing ratios of TS and XG. Sucrose increased the hardness and stiffness of the gels prepared from both TS alone and TS/XG. Incorporation of XG into TS decreased the hardness and stiffness but increased the cohesiveness of the gels compared with those of TS alone, suggesting that XG can decrease network rigidity by reducing the structure formation of the amylose in TS and sucrose strengthens the gels and delays the gelatinization of TS.

The effect of salts on the physical properties of TS and TS/XG dispersions was investigated. For RVA measurement, pasting temperatures of 5% TS and TS/XG (9/1) dispersions increased with increasing salts (NaCl, KCl, or CaCl₂). The gelatinization temperatures determined from dynamic viscoelastic measurement also increased with increasing salt content. G' of TS and TS/XG pastes containing different concentrations of NaCl and CaCl₂ at 5°C showed almost identical during cooling. DSC curves gave the higher gelatinization temperatures with increasing NaCl concentration but gelatinization enthalpy of 25% TS and TS/XG dispersions showed a trend of slightly increase with increasing the NaCl concentration

The results from this study were used to improve the food system for better stability and texture in product and process development.

EXECUTIVE SUMMARY

1. โครงการ ผลของน้ำตาลและเกลือต่อสมบัติทางด้านกายภาพของเจลผสมของไซโลกลูแคนกับแป้งมันสำปะหลัง
2. ชื่อหัวหน้าโครงการ
รองศาสตราจารย์ ดร. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
โทรศัพท์ (02) 562-5004 โทรสาร (02) 5621-5005
Email address : fagiruw@ku.ac.th
นักศึกษา คปก นางธีรนนท์ เต็มศิริพงศ์ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. วัตถุประสงค์
 1. เพื่อให้ทราบผลของไซโลกลูแคน น้ำตาล และเกลือต่อสมบัติทางด้านกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง
 2. เพื่อเป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการนำไปประยุกต์เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการ
4. วิธีดำเนินการวิจัย (research methodology/ work plan)
 - 4.1 ศึกษาลักษณะทางด้านรีโอโลยีและด้านความร้อนของของผสม (dispersions) ระหว่างแป้งมันสำปะหลัง (TS) กับไซโลกลูแคน (XG) โดยวิธีการรีโอเมทรีที่เป็นทั้ง dynamic และ steady shear และวิธี DSC (differential scanning calorimetry)
 - 4.2 ศึกษาผลของซูโครสต่อลักษณะทางกายภาพของระบบ TS เพียงอย่างเดียวและระบบของผสม TS และ XG โดย RVA, rheometer, TPA และ DSC
 - 4.3 ศึกษาผลของเกลือต่อลักษณะทางกายภาพของระบบ TS เพียงอย่างเดียวและระบบของผสม TS และ XG โดย RVA, rheometer และ DSC
5. ผลที่ได้รับจากโครงการ (out put)
 1. XG ทำให้เกิดเฟสต่อเนื่องที่เป็นของเหลวในของผสมซึ่งให้ความคงตัวทางกลดีขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยจะเร่งการจัดเรียงตัวของพอลิแซ็กคาไรด์แบ่งจากการที่ปริมาณน้ำที่แบ่งจะนำไปใช้ได้ลดน้อยลง XG นอกจากให้ความหนืดสูงขึ้น ยังให้ความคงตัวทางด้านความร้อน และให้สมบัติทางรีโอโลยีที่คล้ายของเหลวต่อของผสมที่ผ่านการเจลาติไนส์
 2. จากการศึกษาผลของซูโครส (น้ำตาลทราย) และเกลือ ซึ่งมักใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารต่อสมบัติทางกายภาพของระบบ TS เพียงอย่างเดียวและระบบของผสม TS และ XG (สัดส่วน 9:1) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งเป็นส่วนประกอบ พบว่า ซูโครสมีผลทำให้ความแข็งทั้งค่า hardness และ stiffness มากขึ้น การใช้ XG แทนในแป้ง TS ลดความแข็งแต่เพิ่มค่า cohesiveness ของเจลแสดงให้เห็นว่า XG ลดความแข็งของโครงสร้างตาข่ายด้วยการลดการจัดเรียงตัวโครงสร้างของอะไมโลสใน TS และซูโครสทำให้เจลแข็งแรงขึ้นและชะลอการเจลาติไนเซชันของ TS ด้วย โดยซูโครสและเกลือมีผลทำให้ gelatinization temperature สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของซูโครสหรือเกลือเพิ่มขึ้น
 3. ได้ส่ง manuscript ไปตีพิมพ์ในวารสาร Food Hydrocolloids 1 paper ซึ่งได้รับการตอบรับหลังการแก้ไขเล็กน้อย ก่อน และยังได้เตรียม manuscript อีก 2 เรื่อง เพื่อส่งไปตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

CONTENT

	Page
Abstract (ภาษาไทย)	i
Abstract (ภาษาอังกฤษ)	iii
Executive summary	v
Content	vi
เนื้อหาทางวิจัย	
I. Introduction	1
II. Materials and methods	3
III. Results and discussion	9
IV. Conclusion	36
V. References	37
Output ที่ได้จากโครงการ	41
ภาคผนวก 1 Manuscript	42
ภาคผนวก 2 Abstract for the 2005 IFT Meeting and expo	77
ภาคผนวก 3 บทความสำหรับการเผยแพร่	79