ผลของซูโครสต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้า
Effect of Sucrose on Rice Flour Properties

อุมาพร อาลัย* ตรินัย ตั้งสัมพันธ์ และ มารุต เกิดสีเพ็ง

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
**aeh351@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของซูโครสที่มีผลต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเป็นแป้งที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมไทย ศึกษาโดยแปรปริมาณซูโครสเป็น 0 10 30 และ 60% ติดตามสมบัติของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ สมบัติการไหล สมบัติความร้อน เนื้อสัมผัส และการขับน้ำออกจากเจลหลังการแช่เยือกแข็ง 5 รอบ ผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติการไหลด้านค่าอุณหภูมิการเกิดความหนืด และความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้น สมบัติความร้อนด้านค่าอุณหภูมิการเกิดความหนืด การหลอมผลึก พลังงานเอนทาลปี และการขับน้ำออกจากเจลแป้งหลังการแช่เยือกแข็ง 5 รอบเพิ่มขึ้น ในขณะที่เนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความยืดหยุ่นลดลง

คำสำคัญ: โมเดลแป้ง แป้งธรรมชาติ ซูโครส พฤติกรรมแป้ง

Abstract

The research aimed to study the effect of sucrose on rice flour properties whereas rice flour is the main ingredient using for the Thai desserts. The sucrose concentration was varied as 0, 10, 20, 30 and 60%. The rice flour properties were monitored the rheology property, thermal property, texture values and syneresis after freeze thawing for 5 cycles. The results were found that the increasing of sucrose induced the rheology properties especially pasting temperature and set back values rise up. The thermal properties in onset temperature, melting temperature entralpy value and syneresis after thawing were also increased meanwhile hardness and springiness values were decreased.

Keywords: starch model, native starch, sucrose, starch property

1. บทนำ

ขนมไทยเป็นผลิตภัณฑ์ที่แสดงความเป็นเอกลักษณ์ประจำท้องถิ่น และนิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย แต่ขนมไทยมีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยทั่วไปสามารถเก็บรักษาได้เพียง 2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (วารุณี, 2549) การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับขนมไทยด้วยการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการหรือการยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น โดยยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจึงเป็นสิ่งสำคัญ การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้สารเคมี การใช้ความเย็น การแช่เยือกแข็ง และการให้ความร้อนเป็นกระบวนการผลิตอาหารพร้อมบริโภคที่นิยม เนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษา รับประทานได้สะดวก และใช้เวลาในการเตรียมเพื่อการบริโภคสั้น (Chareanrein and Preechatammawong, 2012) การแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่ลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ทำให้ค่าAw ของอาหารลดลง เป็นการชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในอาหาร ในขณะที่การยืดอายุการเก็บด้วยความร้อนระดับสเตอริไรเซชัน เป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง และเวลานานเพื่อทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ต่าง ๆ ในอาหาร (วิไล, 2547) อย่างไรก็ตามวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาดังกล่าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีของอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่มีส่วนประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง และให้ความร้อน ได้แก่ การเกิดผลึกน้ำแข็ง การแยกตัวของน้ำออกจากเจลแป้ง การเกิดเจลาทิไนซ์ระหว่างการให้ความร้อน อาจส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของแป้งที่ใช้ผลิตขนม และการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค เกศิรินทร์ และคณะ (2554) รายงานผลของการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพด้านความแข็ง และการยอมรับคุณภาพขนมชั้นแช่เยือกแข็ง โดยพบว่าการแช่เยือกแข็งแบบเร็วเหมาะสมต่อการผลิตขนมชั้นแช่เยือกแข็งมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า เนื่องจากเกิดรีโทรเกรด (retrogradation) น้อยกว่าการให้ความร้อนต่อแป้ง ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดย Hu et al (2011) รายงานผลของการให้ความร้อน แบบ ความดันสูง (high pressure) และแบบธรรมดา ส่งผลต่อเจลแป้งข้าวที่ได้ โดยการให้ความร้อนทำให้เกิดรีโทรเกรดของเจลแป้ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของซูโครสที่มีต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้าที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลักในขนมไทย การศึกษานี้ช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของแป้งข้าวเจ้า แล้วนำมาประยุกต์ด้านการยืดอายุการเก็บของขนมไทย

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมเจลแป้งข้าวเจ้าและซูโครส

ศึกษาผลของซูโครสต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้าโดยแปรปริมาณซูโครสเป็น 0 10 30 และ 60% โดยเลือกระดับซูโครสช่วง 10-60% เนื่องจากระดับซูโครสดังกล่าวเป็นช่วงระดับที่นิยมใช้ในขนมไทย เพื่อให้ความหวานและถนอมรักษาอาหาร ศึกษาผลของซูโครส โดยผสมซูโครสลงในสารละลายแป้งความเข้มข้น 15% w/w โดยน้ำหนักแห้ง จากนั้นกวนสารละลายด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35±5 C°แล้วให้ความร้อนสารละลายที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 15 นาที โดยกวนอย่างต่อเนื่องจนเจลมีความหนืด 22,809 cps จากนั้นเทลงพิมพ์ขนาด 4×5×1 เซนติเมตร นำไปนึ่งด้วยไอน้ำ 100 °C เป็นระยะเวลา10นาที ลดอุณหภูมิเจลเป็น 30 °C ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำออกจากพิมพ์เพื่อวัดคุณภาพ

2.2 สมบัติการไหล

เตรียมสารละลายแป้ง 15% w/w โดยน้ำหนักแห้ง ใส่ในกระบอกอลูมิเนียม วัดด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหล (Rapid visco amylograph) ให้ความร้อนที่ 50 °C เป็นเวลา 1 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 °C กำหนดให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 12 °C/ นาที และจากนั้นให้ความร้อนที่ 95 ℃ เป็นเวลา 2.5 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่ 50 °C และคงไว้เป็นเวลา 2 นาที (Chareanrein and Preechatammawong, 2012)

2.3 สมบัติความร้อน

เตรียมของผสมระหว่างแป้ง และน้ำอัตราส่วน 1:2 ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมงเพื่อให้แป้งดูดน้ำ จากนั้นวัดสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยเครื่อง differential scanning colorimeter (DSC) กำหนดการวัดที่อุณหภูมิ 30 ℃ ถึง 120 ℃ ที่อัตราการไหลเท่ากับ 10 ℃ / นาที ติดตามค่าอุณหภูมิการเกิดความหนืด (T_o) อุณหภูมิสูงสุดการเกิดความหนืด (T_p) การหลอมผลึก(T_M) และพลังงานเอนทาลปี (ΔH) (Wang et al.,2013)

2.4 การขับน้ำออกจากเจล

เตรียมเจลแป้งผสมซูโครส น้ำหนัก 40g ใส่หลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 150 ml จากนั้นแช่เยือกแข็งด้วยระบบลมเย็น (airblast) ที่อุณหภูมิ –25 ˚C เก็บรักษาในตู้แช่เย็น (chest freezer) ที่ -18 ˚C เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำเจลแป้งออกมาทำละลาย โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 35±5 ˚C จนเจลแป้งมีอุณหภูมิ 25 ˚C ชั่งน้ำหนักเจลแป้ง (w1)จากนั้นหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8000 rpm เป็นเวลา 15นาที ชั่งน้ำหนักของเหลวที่ได้ (w2) หาร้อยละการขับน้ำออกจากเจล (%syneresis) ตามวิธีการของ Teng et al. (2011) ทำซ้ำ 5 รอบของการแช่เยือกแข็ง

$$\%\text{syneresis} = \frac{W2}{W1} \times 100$$

W1 = น้ำหนักเจลก่อนหมุนเหวี่ยง (กรัม)

W2 = น้ำหนักของเหลว (กรัม)

2.5 เนื้อสัมผัส

เจลแป้งนำมาวัดเนื้อสัมผัส ด้าน ความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyser, TA.XT.plus) ดัดแปลงจากวิธีของ Wang et al (2013) โดยใช้หัววัด Cylinder Probe ขนาด P/100กำหนด น้ำหนักการกด(load cell) 300 N แรงกดที่ 40% ของความสูง อัตราเร็วของการวัด(test speed) ก่อนการวัด (pre test) และหลังการวัด (post test) ที่ 1, 1 และ 10 mm/s

2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองของการวัดคุณภาพทางเคมีแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) จำนวน 4 ทรีทเมนต์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทดลอง 3 ซ้ำ โดยผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 สมบัติการไหล

ผลของซูโครสต่อสมบัติการไหลของแป้งข้าวเจ้าแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า เมื่อระดับซูโครสเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ (pasting temperature) และความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณซูโครส 60 % มีค่าสูงดังกล่าวเพิ่มมากสุด ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การเกิดเจลาติไนเซชันของแป้ง เริ่มจากเม็ดแป้งดูดซึมน้ำ และเกิดการพองตัว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็วและดูดซึมน้ำมาก จนเกิดการแตกตัว ทำให้อะมิโลสหลุดออกมาภายนอกเม็ดแป้ง การเติมซูโครส หรือกลูโคสไซรัปส่งผลทำให้ลดปริมาณน้ำที่แป้งต้องใช้เพื่อการพองตัว เมื่อเพิ่มปริมาณซูโครสจึงทำให้อุณหภูมิเกิดความหนืด pasting

temperature ของสารละลายแป้งสูงมากขึ้น (Zobel and Stephen,1995) ประกอบกับการเพิ่มระดับของซูโครสมีผลทำให้เร่งการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) จึงทำให้ค่า set back เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Arunyanart and Charoenrein (2008) ที่กล่าวว่า การเพิ่มซูโครสในเจลแป้งข้าวโพด และเจลแป้งข้าวเจ้า ทำให้ระดับการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้น

3.2 สมบัติความร้อน

ผลของซูโครสต่อสมบัติความร้อนของแป้งข้าวเจ้าแสดงดังตารางที่ 2 พบว่า เมื่อระดับซูโครสเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่า T_{onset} T_{peak} และ $T_{melting}$ และพลังงานเอนทาลปี (**Δ**H) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากโมเลกุลของซูโครสสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ และโครงสร้างพอลิเมอร์ของแป้ง ส่งผลทำให้ความหนืดและการพองตัวของแป้งลดลง และพลังงานที่ใช้ในการสลายผลึกมากขึ้น (Arunyanart and Charoenrein,2008) ซึ่งต่างจากผลการวิจัยของ Maaurf et al. (2001) ที่รายงานว่า การเพิ่มปริมาณซูโครสในแป้งสาคูส่งผลให้ค่าT_{onset} T_{peak} และ $T_{mellting}$ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า **Δ**H ไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 1 สมบัติการไหลของแป้งข้าวเจ้าผสมซูโครส แปรปริมาณซูโครสเป็น 0 10 30 และ 60 %

สมบัติการไหล	ระดับของซูโครส (%)			
	0	10	30	60
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity)	8271.7±129.97	8180.3±114.71	8416.7±61.62	8793.7±420.64
ความหนืดต่ำสุดระหว่างทำให้เย็น(Trough)	6688.7^{b}±141.43	6576.7^{b}±60.41	6977.3^{b}±243.51	7702.4^{a}±554.56
ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด^{ns}(Breakdown)	160.30±267.98	160.37±53.87	153.93±224.31	1591.9.±82.01
ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50c°^{ns} (Final Viscosity)	3084.1±16.32	3063.8±16.29	3069.8±16.24	3043.4±0.23
ค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback)	2094.3^{d}±142.21	2465.4^{b}±170.99	2213.2^{c}±102.22	2664.3^{a}±54.24
เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด (peak Time)	6.33^{b}±0.11	6.40^{b}±0.70	6.44^{b}±1.66	6.69^{a}±0.03
อุณหภูมิการเกิดความหนืด (Pasting Temp)	82.90^{c}±0.52	83.20^{c}±0.86	84.25^{b}±1.35	85.30^{a}±0.43

^{a,b,c,d} ในแนวนอนเดียวกันที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 สมบัติความร้อนของแป้งข้าวเจ้าผสมซูโครส แปรปริมาณซูโครสเป็น 0 10 30 และ 60 %

ระดับของซูโครส (%)	T_o (^{o}c)	T_p(^{o}c)	T_m (^{o}c)	**Δ**H (J/g starch)
0	62.50^{a} ±0.06	73.05^{a} ±0.03	81.70^{a} ±0.07	2.59^{b} ±0.07
10	63.40^{a} ±0.07	73.85^{a} ±0.08	82.50^{a} ±0.05	2.20^{a} ±0.06
30	65.60^{b} ±0.05	78.25^{b} ±0.06	84.80^{b} ±0.04	2.61^{b} ±0.08
60	69.50^{c} ±0.05	79.65^{b} ±0.09	87.30^{c} ±0.06	2.86^{c} ±0.06

^{a,b,c} ในแนวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

3.3 การขับน้ำออกจากเจล

เมื่อนำเจลแป้งข้าวเจ้าผสมซูโครส แล้วผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย จำนวน 5 รอบ ดังตารางที่3 พบว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมซูโครสในระดับที่เพิ่มขึ้น มีค่าร้อยละการขับน้ำออกจากเจลเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกรอบของการแช่แข็งและทำละลายหลายครั้ง ส่งผลต่อขนาดของผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ ทำให้โครงสร้างของเจลแป้งถูกทำลาย โอกาสที่น้ำออกจากโครงสร้างได้มากขึ้น ประกอบกับซูโครสเร่งการการเกิดผลึกใหม่ (recrystallization) ของแป้ง จึงอาจส่งผลทำให้การขับน้ำออกจากเจลมากขึ้น ซึ่งต่างจากผลการทดลองของ Arunyanart and Charoenrein (2008) ที่รายงานว่า การเพิ่มระดับซูโครสจาก 10 เป็น 20% ในเจลแป้งข้าวโพด และเจลแป้งข้าวเจ้า ทำให้ค่าการขับน้ำออกจากเจลลดลง

ตารางที่ 3 ร้อยละการขับน้ำออกจากเจล (% syneresis) ของแป้งข้าวเจ้าผสมซูโครสที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและทำละลาย จำนวน 5 รอบ และแปรปริมาณซูโครสเป็น 0 10 30 และ 60 %

ระดับของซูโครส (%)	การขับน้ำออกจากเจล (%)				
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5
0	$3.14^{Eb} \pm 1.81$	$11.90^{Dc} \pm 2.17$	$15.15^{Cab} \pm 1.12$	$17.35^{Bb} \pm 1.09$	$19.07^{Ab} \pm 1.16$
10	$0.81^{Ed} \pm 0.00$	$11.08^{Dcd} \pm 2.73$	$13.9^{Cc} \pm 2.11$	$22.14^{Ba} \pm 3.21$	$25.18^{Aa} \pm 2.22$
30	$1.51^{Ec} \pm 0.87$	$13.39^{CDb} \pm 2.98$	$14.94^{Cb} \pm 0.09$	$20.75^{Bb} \pm 1.14$	$25.29^{Aa} \pm 2.16$
60	$4.68^{Ea} \pm 2.70$	$14.38^{CDa} \pm 4.86$	$16.59^{Ca} \pm 0.08$	$18.70^{Bb} \pm 2.12$	$27.09^{Aa} \pm 2.19$

^{a,b,c} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

^{A,B,C,D,E} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

3.4 เนื้อสัมผัส

ผลของซูโครสต่อค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของแป้งข้าวเจ้าแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซูโครสในเจลแป้ง ส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเจลแป้งข้าวเจ้าผสมซูโครสที่ร้อยละ 60 มีค่าความแข็งและค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุดเท่ากับ 2244 g และ 4.05 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากโมเลกุลของซูโครสสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ และโครงสร้างพอลิเมอร์ของแป้ง (Torres,2013; Arunyanart and Charoenrein, 2008) ประกอบกับการวัดเนื้อสัมผัสถูกศึกษากับเจลแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนชื้น โดยยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง จึงส่งผลให้เจลมีความแข็งและความยืดหยุ่นลดลง

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่น ของแป้งข้าวเจ้าผสมซูโครส แปรปริมาณซูโครสเป็น 0 10 30 และ 60%

ระดับของซูโครส (%)	ความแข็ง (g)	ความยืดหยุ่น
0	$2461^{a} \pm 139$	$4.48^{a} \pm 0.35$
10	$2460^{a} \pm 219$	$4.33^{a} \pm 0.41$
30	$2254^{ab} \pm 239$	$4.27^{ab} \pm 0.49$
60	$2244^{b} \pm 178$	$4.05^{c} \pm 0.52$

^{a,b,c,d} ในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. สรุปผลการทดลอง

การเพิ่มปริมาณซูโครสในแป้งข้าวเจ้า ส่งผลให้สมบัติการไหล ความร้อน เนื้อสัมผัส และการขับน้ำออกจากเจลแป้งเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิการเกิดความหนืด ความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด อุณหภูมิการเกิดความหนืด การหลอมผลึก พลังงานเอนทาลปี และการขับน้ำออกจากเจลแป้งหลังการแช่เยือกแข็ง 5 รอบเพิ่มขึ้น ในขณะที่เนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความยืดหยุ่นลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

เกศิรินทร์ บาตรโพธิ์ ธัญลักษณ์ สร้อยทอง และสงวนศรี เจริญเหรียญ. (2554). **ผลของอัตราการแช่เยือกแข็งและวิธีการละลายน้ำแข็งต่อคุณภาพของขนมชั้นแช่เยือกแข็ง.** เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพ.

วารุณี ภัทรพิชิต. (2549). **อิทธิลของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรและสภาวะการบรรจุต่ออายุการเก็บรักษาขนมชั้น.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิไล รังสาดทอง. (2547). **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพ: เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชัน

Arunyanart, T. and Charoenrein, S. (2008). Effect of sucrose on the freeze–thaw stability of rice starch gels: Correlation with microstructure and freezable water. **Carbohydrate Polymers**, 74, 514– 518.

Charoenrein, S. and Preechathammawong, N. (2012). Effect of waxy rice flour and cassava starch o freeze–thaw stability of rice starch gels. **Carbohydrate Polymers**, 90, 1032– 1037.

Hu, X., Xu, X., Jin, Z., Tian, Y., Bai, Y. and Xia, Z. (2011). Retrogradation properties of rice starch gelatinized by heat and high hydrostatic pressure (HHP). **Journal of Food Engineering**, 106, 262–266.

Maaurf, A.G., Che Man, Y.B., Asbi, B.A., Junainah, A.H. and Kennedy, J.F. (2001). Gelatinisation of sago starch in the presence of sucrose and sodium chloride as assessed by differential scanning carolimetry. **Carbohydrate Polymers**, 45, 335– 345.

Teng, L.Y., Chin, N.L. and Yusof, Y.A. (2011). Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starchesugar gels. I. Optimisation using response surface methodology .**Food Hydrocolloids**, 25, 1530-1537.

Wang, L., Xie, B., Xiong, G., Wu, W., Wang, J., Qiao, Y. and Liao, L. (2013). The effect of freeze thaw cycles on microstructure and physicochemical properties of four starch gels**. Food hydrocolloids**, 31,61-67.

Zobel, H.F. and Stephen, A.M. (1995). Starch: Structure, analysis, and application. In Stephen, A.M., **Food Polysaccharides and their Applications**. New York : Marcel Dekker.