ผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสต่อลักษณะคุณภาพของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส

Effect of oligofructose and sucrose concentration on quality characteristics of osmosed Kluai Khai (Musa AA Group)

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร[1], และ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล[1]*

Supapun Khongsomphet [1], and Wichamanee Yuenyongputtakal[1]*

[1] *ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) และซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม ในการเตรียมสารละลายออสโมติกต่อลักษณะคุณภาพบางประการของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสมีผลต่อค่าถ่ายเทมวลสาร ค่าสี ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) การใช้โอลิโกฟรุคโตสและซูโครสในระดับสูงร่วมกัน ทำให้กล้วยไข่มีปริมาณน้ำที่ สูญเสีย (ร้อยละ 24.05) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 2.35) สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าต่าง ๆ สูงที่สุด ดังนี้ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) เท่ากับ 11.75 ความแน่นเนื้อ 155.69 กรัม ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 44 องศาบริกซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 16.24 ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ : กล้วยไข่ / สารละลายออสโมติก / โอลิโกฟรุคโตส / ซูโครส

Abstract

The aim of this research was to study the effect of oligofructose (30-50 g/100 g) and sucrose (10-20 g/100 g) concentration together with sodium chloride (5 g/100 g) prepared for osmotic solution on some quality characteristics of osmosed Kluai Khai. The result showed that concentration of oligofructose and sucrose affected on mass transfer, color value, firmness, total soluble solid and total sugar content of osmosed Kluai Khai ($p \leq 0.05$). It was found that at high level of oligofructose and sucrose combination Kluai Khai had the maximized water lose (24.05%) and solid gain (2.35%) ($p \leq 0.05$). These osmosed Kluai Khai had the highest value in terms of: ΔE as 11.75, firmness as 155.68 gram, total soluble solid as 44 degree Brix and total sugar content as 16.24%. ($p \leq 0.05$).

Keywords : Kluai Khai / osmotic solution / oligofructose / sucrose

*Corresponding author. E-mail : nancubza@hotmail.com

1. บทนำ

การแช่ผักผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิส เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ผักผลไม้และสารละลายออสโมติก ทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ผักผลไม้ไปยังสารละลาย ขณะเดียวกันตัวถูกละลายจากสารละลายแพร่เข้าสู่เซลล์ผักผลไม้ ทำให้ผักผลไม้มีปริมาณน้ำลดลงและปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น (Azoubel and Murr, 2010) ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการออสโมซิสโดยตรง โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำเชื่อมซูโครสเป็นสารละลายออสโมติก เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก สะดวกแก่การใช้งาน และมีแรงดันออสโมติกสูง อย่างไรก็ตามชนิดของน้ำตาลมีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทมวลสาร Ail Khan et al. (2011) พบว่า การใช้น้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น ฟรุคโตส สามารถเร่งการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นแอปเปิลได้มากกว่าการใช้น้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น ซูโครสและมอลโตเด็กตริน นอกจากนี้การเลือกใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกมาก สามารถเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้ (Chavan, 2012) อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายออสโมติกที่เข้มข้นมากเกินไปอาจทำให้เกิดผลึกน้ำตาลเคลือบที่ชั้นผิวหน้าของชิ้นอาหาร ทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำและตัวถูกละลายระหว่างการออสโมซิสได้ (Tortoe, 2010) นอกจากนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานมากเกินไป ส่งผลเสียต่อสุขภาพ ปัจจุบันแนวโน้มของผู้บริโภคมีความใส่ใจเกี่ยวกับสุขภาพมากขึ้น ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อลดปริมาณน้ำตาลลงหรือใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลซูโครส (Roberfroid, 2000) น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเป็นน้ำตาลประเภทโพลีแซคคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุคโตสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว 2-10 โมเลกุล มีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย จึงส่งผลดีต่อสุขภาพ (Rao, 2001) ในปัจจุบันมีการนำโอลิโกฟรุคโตสมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้เป็นสารทดแทนน้ำตาลและเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ผลิตภัณฑ์นมและเครื่องดื่ม (ศิริพร และคณะ, 2553) แต่เนื่องจากโอลิโกฟรุคโตสเป็นน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง การนำมาใช้เป็นสารละลายออสโมติกทำให้อัตราการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นผลไม้ต่ำ (Matusek et al., 2008) การเตรียมสารละลายออสโมติกในลักษณะสารละลายผสมที่มีส่วนผสมของน้ำตาลหรือการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมด้วย จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเสริมแรงขับในการถ่ายเทมวลสารและสามารถปรับปรุงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ได้ (Khan, 2012) กล้วยไข่เป็นผลไม้ที่มีศักยภาพในการผลิตและส่งออกชนิดหนึ่ง ทำรายได้ให้กับประเทศปีละหลายล้านบาท อย่างไรก็ตามกล้วยไข่มีอายุการเก็บรักษาสั้น (อทิพัฒน์, 2554) การยืดอายุการเก็บรักษาและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ จึงน่าจะช่วยเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบกล้วยไข่ได้ นอกจากนี้ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารละลายผสมในกระบวนการออสโมซิสของกล้วยไข่มาก่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสต่อลักษณะคุณภาพด้านต่างๆ ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส ได้แก่ ค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

2.วิธีการ

2.1 การเตรียมวัตถุดิบกล้วยไข่

ควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบกล้วยไข่ที่ใช้ตลอดการวิจัย โดยกำหนดให้ใช้กล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรที่มีความสุกตามดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 3 (Pell Color Index) เปลือกกล้วยมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง (เบญจมาศ, 2545) มีค่าสี L^* a^* และ b^* (Hunter Lab รุ่น Miniscan XP plus, USA) อยู่ในช่วง 63.16±0.46 -9.46±0.14 และ 43.77±0.56 ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Atago รุ่น 2210-w06, Japan) 23-24 องศาบริกซ์ ขนาดผลยาว 8-10 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-3.0 เซนติเมตร นำกล้วยไข่ตัดขั้วออก ปอกเปลือก หั่นเป็นแว่นหนา 1 เซนติเมตร แช่ในสารละลายกรดซิตริก (Food grade, Thailand) ความเข้มข้น 1 กรัมต่อ 100 กรัม เป็นเวลา 3 นาที วางพักบนตะแกรงเป็นเวลา 2 นาที แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษ

2.2 การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

เตรียมสารละลายออสโมติกซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างโอลิโกฟรุคโตส (Beneo Orafti, Belgium) ความเข้มข้น 30-50 กรัมต่อ100 กรัม และซูโครส (Food grade, Thailand) ความเข้มข้น 10-20 กรัมต่อ 100 กรัม โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Central Composition Design ได้ 9 สิ่งทดลอง และกำหนดให้เติมโซเดียมคลอไรด์ (Food grade, Thailand) ความเข้มข้น 5 กรัมต่อ 100 กรัม ทุกสิ่งทดลอง กำหนดค่ารหัสและค่าจริงในการแปรความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสดังตารางที่ 1 โดยละลายโอลิโกฟรุคโตส ซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ตามปริมาณกำหนดในน้ำสะอาดให้ความร้อนจนเดือด แล้วทิ้งไว้ให้สารละลายเย็นก่อนนำมาใช้งาน จากนั้นบรรจุชิ้นกล้วยไข่และสารละลายออสโมติกในโหลแก้ว กำหนดอัตราส่วนระหว่างชิ้นกล้วยไข่และสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:3 (โดยน้ำหนัก) ออสโมซิสที่อุณหภูมิ 27±1องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำชิ้นกล้วยไข่มาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออก วางพักบนตะแกรงเป็นเวลา 3 นาที แล้วซับด้วยกระดาษ สุ่มตัวอย่างกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมาวิเคราะห์คุณภาพ

2.3 การวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL)} = \frac{(W_0M_0 - W_tM_t) \times 100}{W_0}$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG)} = \frac{[W_t(1-M_t) - W_0(1-M_0)]}{W_0} \times 100$$

เมื่อ W_0 และ W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้นและหลังการออสโมซิส (กรัม) ตามลำดับ

M_0 และ M_t คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้นและหลังการออสโมซิส (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง) ตามลำดับ

2) ค่าสี L^* a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab รุ่น Miniscan XP plus, USA) และคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไข่สด ดังนี้

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_0-L^*)^2+(a^*_0-a^*)^2+(b^*_0-b^*)^2}$$

เมื่อ L^*_0 a^*_0 และ b^*_0 คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยไข่สด และ L^* a^* และ b^* คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส

3) ค่าความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2,, England) ใช้วิธีการวัดแบบ Compression โดยใช้หัววัดแบบ Cylinder probe P/2 ความเร็วในการกด 2 มิลลิเมตรต่อวินาที

4) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Atago รุ่น 2210-w06, Japan)

5) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 1990)

ตารางที่ 1 ค่ารหัสและค่าจริงในการแปรความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครส โดยการจัดสิ่งทดลองแบบ Central Composition Design

ชนิดของน้ำตาล	ค่ารหัส				
	-1.414	-1	0	+1	+1.414
โอลิโกฟรุคโตส (กรัมต่อ 100 กรัม)	30	33	40	47	50
ซูโครส (กรัมต่อ 100 กรัม)	10	12	15	19	20

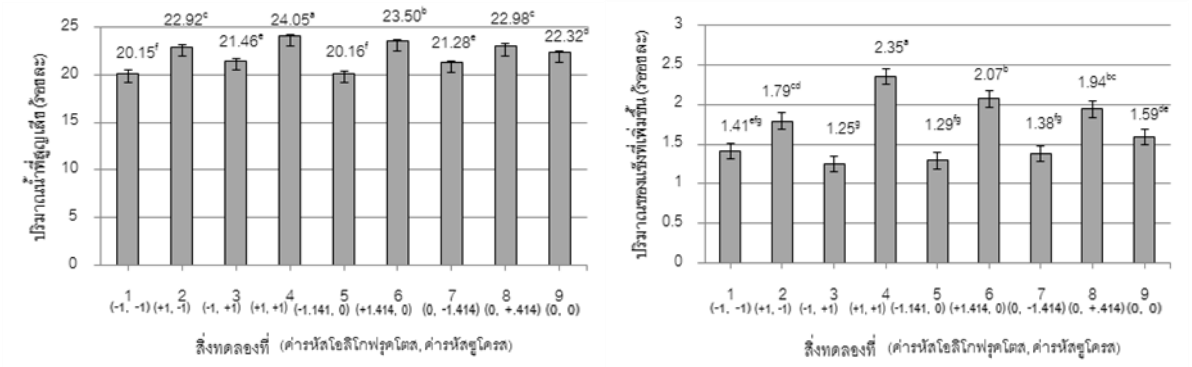
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 13

3. ผลและอภิปราย

จากภาพที่ 1 พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) ทำให้กล้วยไข่มีค่า WL และ SG สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 24.05 และ 2.35 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีความเข้มข้นสูงจึงเกิดแรงดันออสโมติกมาก นอกจากนี้การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลาย ออสโมติกความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานทำให้เกิดปรากฏการณ์พลาสโมไลซิส มีผลทำให้ความแข็งแรงของผนังเซลล์ลดลงส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มาก (นวภัทรา และอมรรัตน์, 2554) การถ่ายเทมวลสารหลักที่เกิดขึ้นคือ เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์กล้วยไข่ไปยังสารละลาย ขณะเดียวกันตัวถูกละลายจากสารละลายแพร่เข้าสู่เซลล์กล้วยไข่ โดยเกิดแบบสวนทางกัน จึงทำให้สารละลายที่ 4 นี้ ทำให้กล้วยไข่มีค่า WL และ SG สูงที่สุด ในขณะสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (-1, -1) และสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับต่ำที่สุดร่วมกับซูโครสในระดับกึ่งกลาง (-1414, 0) ทำให้กล้วยไข่มีค่า WL และ SG ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ทำให้กล้วยไข่มีค่า WL และ SG อยู่ในช่วงร้อยละ 20.15-20.16 และ 1.29-1.41 ตามลำดับ เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวใช้โอลิโกฟรุคโตสและซูโครสในปริมาณน้อยทำให้สารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นต่ำ จึงเกิดความแตกต่างระหว่างเซลล์ผักผลไม้และสารละลายออสโมติกน้อย ส่งผลให้เกิดแรงดันออสโมติกน้อย (Azoubel and Murr, 2010) และพบว่า ในสิ่งทดลองที่ 1 และ 5 ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสรวมในปริมาณ 45 กรัมต่อ 100 กรัม เท่ากัน และจัดเป็นการใช้ปริมาณตัวถูกละลายที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทมวลสารได้น้อยและเป็นไปอย่างช้าๆ เหตุผลนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Agarry and Owabor (2012) ที่ศึกษาการออสโมซิสในกระเจี๊ยบเขียว พบว่า การใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำทำให้แรงขับในกระบวนการออสโมซิสต่ำ มีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้น้อยถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการออสโมซิสนาน

โดยภาพรวมของการทดลองพบว่า การใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสความเข้มข้น 30-50 กรัมต่อ 100 กรัม และซูโครสความเข้มข้น 10-20 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม มีผลให้กล้วยไข่มีปริมาณน้ำที่สูญเสียอยู่ในช่วงร้อยละ 20.15-24.05 และมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.25-2.35 แสดงให้เห็นว่า ในการแช่ชิ้นกล้วยไข่ลงในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารตามความมุ่งหมายหลักของการออสโมซิสคือ การกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผักผลไม้ แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสร่วมด้วย



ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครส ร่วมกับการใช้โซเดียมคลอไรด์ ($^{a-g}$ คือ ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$))

สีเป็นสมบัติกายภาพของอาหารที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สีของอาหารมักเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ง่ายในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร แต่การออสโมซิสเป็นการแปรรูปแบบไม่รุนแรง ซึ่งมีส่วนช่วยในการรักษาการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อน (Tortoe, 2010) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพด้านสีของชิ้นผลไม้หลังการออสโมซิส จากตารางที่ 2 พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) ทำให้กล้วยไข่มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุดแต่มีค่าความเป็นสีแดงต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีเหลืองสว่างมากขึ้น ไม่ดำคล้ำ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองนี้ใช้สารละลายน้ำตาลผสมความเข้มข้นสูง โดยน้ำตาลทำหน้าที่เคลือบชิ้นอาหารไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ จึงมีสมบัติในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นรอบๆ ชิ้นผลไม้ได้ (Khan, 2012) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (-1, -1) ทำให้กล้วยไข่มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุดแต่มีค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีคล้ำลงเล็กน้อย เนื่องจากสิ่งทดลองนี้ใช้สารละลายน้ำตาลผสมความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ จึงอาจเคลือบชิ้นกล้วยไข่ได้ไม่หนาทั่วถึงเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้กล้วยไข่ทุกสิ่งทดลองผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายกรดซิตริกซึ่งสามารถช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของผักผลไม้ระหว่างการออสโมซิสได้ เนื่องจากสภาวะกรดทำให้โพลีฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้ ไม่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Camaila et al., 2011) ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองจึงยังคงมีสีเหลืองและไม่ดำคล้ำมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไข่สด พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในช่วง 7.15-11.75 ผลการทดลองนี้มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีใกล้เคียงกันกับงานวิจัยของ Atares et al. (2011) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซูโครสต่อคุณภาพด้านสีของกล้วยหอมหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า การใช้ซูโครสความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 45-65 ทำให้กล้วยหอมหลังการออสโมซิสมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในช่วง 7-15 ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรักษาคุณภาพด้านสีไว้ได้ใกล้เคียงกับกล้วยหอมสด

สีของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสเป็นผลเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสารด้วย โดยผักผลไม้ที่มีน้ำแพร่ออกจากเซลล์มากและมีของแข็งแพร่เข้าไปในเซลล์มาก มีผลให้เซลล์เรียงชิดติดกันมากขึ้น ของแข็งในเซลล์มากขึ้น ทำให้เกิดความหนาแน่นของของแข็งในเซลล์เป็นผลให้เกิดการสะท้อนแสงน้อยลง ผลิตภัณฑ์จึงมีสีเข้มขึ้น (Tortoe, 2010; Khan, 2012) ดังนั้นผลของการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มสีเพิ่มขึ้นหากเปรียบเทียบกับสีของกล้วยไข่สด (L* a* และ b* เท่ากับ 71.07 8.88 และ 40.00 ตามลำดับ) มีค่า a* เพิ่มขึ้น (8.81-12.02) ในขณะที่ค่า b* ลดลง (43.92-51.58)

จากตารางที่ 3 พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) และสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) ทำให้กล้วยไข่มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 155.69 และ 153.48 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (-1, -1) และสิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับต่ำที่สุด (0, -1.414) มีแนวโน้มค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ต่ำ Tortoe (2010) กล่าวว่า เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นหลังการออสโมซิส กล่าวคือ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นจากการออสโมซิสมีผลทำให้ชิ้นผลไม้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากโมเลกุลน้ำตาลสามารถแทรกเข้าไปอยู่ที่ช่องว่างของเซลล์ ซึ่งทำให้เซลล์ผลไม้มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น จึงมีส่วนช่วยให้ชิ้นผลไม้มีความแน่นเนื้อมากขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าโมเลกุลของซูโครสที่แพร่เข้าไปในเซลล์ผลไม้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโพลีแซกคาไรด์ใน ผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของผลไม้หลังการออสโมซิสยังคงมีความแน่นเนื้อดี (งามจิตร, 2551)

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดคือ ผลรวมของของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมดในน้ำคั้นจากผักผลไม้ เช่น น้ำตาล เกลือ โปรตีน กรดอินทรีย์ เป็นต้น ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แสดงถึงผลรวมของน้ำตาลนอนรีดิวซ์ (Non-Reducing sugar) เช่น ซูโครส และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) เช่น กลูโคสและฟรุคโตส (นิธิยา, 2549) เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจากตารางที่ 3 พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสและซูโครสในระดับสูง (+1, +1) และสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) ทำให้กล้วยไข่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 44.00 และ 43.33 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองมีการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงทำให้เกิดแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ผลไม้และสารละลายออสโมติกมาก เยื่อเลือกผ่านของเซลล์จึงยอมให้โมเลกุลของตัวถูกละลายแพร่เข้าไปในชิ้นผลไม้ได้มาก และเมื่อสังเกตปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของกล้วยไข่ในสิ่งทดลองที่ 2 ที่มีการใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับสูงร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (+1, -1) และสิ่งทดลองที่ 8 ที่มีการใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) ตามลำดับ พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 8 ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณซูโครสมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าโอลิโกฟรุคโตส เนื่องจากโอลิโกฟรุคโตสเป็นน้ำตาลประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (828 กรัมต่อโมล) จึงแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในชิ้นกล้วยไข่ได้ยากและช้ากว่าซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลประเภทไดแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (342.30 กรัมต่อโมล) (Khan, 2012) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยะวัทย์ (2544) ที่รายงานว่า ซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกที่ดี เนื่องจากซูโครสมีขนาดโมเลกุลเล็ก มีสมบัติการละลายที่ดีและกระจายตัวในน้ำได้เร็ว โมเลกุลซูโครสจึงสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อสับปะรดได้มากกว่ามอลโตเดกซ์ตรินที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สำหรับด้านปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) และสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งหมายถึงการใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับสูงที่สุดร่วมกับซูโครสในระดับกึ่งกลาง (+1.414, 0) ทำให้กล้วยไข่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 16.24 16.22 และ 15.96 ตามลำดับ ซึ่งพบแนวโน้มคล้ายกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด นั่นคือ การใช้สารละลายออสโมติกผสมความเข้มข้นสูงมีผลทำให้กล้วยไข่มีค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงด้วย

ตารางที่ 2 ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครส ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์

สิ่งทดลองที่	ค่ารหัส		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	โอลิโกฟรุคโตส	ซูโครส	L^*	a^*	b^*	ΔE
1	-1	-1	$62.29^{f} \pm 0.42$	$12.02^{a} \pm 0.03$	$43.92^{g} \pm 0.77$	$10.66^{ab} \pm 0.22$
2	+1	-1	$70.73^{bc} \pm 0.45$	$8.81^{e} \pm 0.05$	$50.74^{b} \pm 0.20$	$10.82^{ab} \pm 0.15$
3	-1	+1	$68.15^{cde} \pm 0.12$	$10.20^{b} \pm 0.12$	$47.94^{d} \pm 0.11$	$8.80^{bc} \pm 0.25$
4	+1	+1	$73.68^{a} \pm 0.36$	$8.91^{e} \pm 0.02$	$51.58^{a} \pm 0.21$	$11.75^{a} \pm 0.13$
5	-1.414	0	$66.96^{e} \pm 0.11$	$10.34^{b} \pm 0.06$	$45.15^{f} \pm 0.34$	$7.15^{c} \pm 0.19$
6	+1.414	0	$72.35^{ab} \pm 0.46$	$9.24^{de} \pm 0.06$	$50.84^{b} \pm 0.13$	$10.86^{ab} \pm 0.09$
7	0	-1.414	$67.66^{de} \pm 0.22$	$9.93^{bc} \pm 0.05$	$46.91^{e} \pm 0.04$	$8.07^{c} \pm 0.14$
8	0	+1.414	$72.23^{ab} \pm 0.07$	$9.44^{cd} \pm 0.06$	$50.89^{b} \pm 0.30$	$10.91^{ab} \pm 0.17$
9	0	0	$70.35^{bcd} \pm 0.14$	$9.71^{cd} \pm 0.11$	$48.74^{c} \pm 0.53$	$9.11^{bc} \pm 0.23$

$^{a-e}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครส ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์

สิ่งทดลองที่	ค่ารหัส		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	โอลิโกฟรุคโตส	ซูโครส	ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
1	-1	-1	$105.64^{g} \pm 1.95$	$27.67^{f} \pm 0.58$	$13.47^{f} \pm 0.07$
2	+1	-1	$137.71^{d} \pm 1.75$	$35.33^{c} \pm 1.04$	$14.20^{d} \pm 0.16$
3	-1	+1	$142.81^{c} \pm 1.09$	$28.17^{f} \pm 1.26$	$15.88^{b} \pm 0.20$
4	+1	+1	$155.69^{a} \pm 1.55$	$44.00^{a} \pm 0.50$	$16.24^{a} \pm 0.27$
5	-1.414	0	$121.79^{e} \pm 1.77$	$27.83^{f} \pm 0.29$	$13.85^{e} \pm 0.12$
6	+1.414	0	$147.32^{b} \pm 1.92$	$43.33^{a} \pm 0.29$	$15.96^{ab} \pm 0.30$
7	0	-1.414	$112.51^{f} \pm 1.82$	$29.33^{e} \pm 0.58$	$13.58^{ef} \pm 0.18$
8	0	+1.414	$153.48^{a} \pm 1.89$	$36.50^{b} \pm 0.87$	$16.22^{a} \pm 0.17$
9	0	0	$136.91^{d} \pm 1.58$	$32.00^{d} \pm 0.29$	$14.68^{c} \pm 0.03$

$^{a-h}$ คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. บทสรุป

การใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากโอลิโกฟรุคโตสความเข้มข้น 30-50 กรัมต่อ100 กรัม และซูโครสความเข้มข้น 10-20 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม มีผลให้ค่าถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย และค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีผลต่อคุณภาพด้านสี ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกล้วยไข่หลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 จากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.)

เอกสารอ้างอิง

งามจิตร โสวิทูร. (2551). การปรับปรุงคุณภาพของเงาะแช่เยือกแข็งโดยวิธีออสโมดีไฮเดรชันด้วยน้ำตาลบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวภัทรา หนูนาค และ อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. (2554). จลนศาสตร์การถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติคไซโป๊วหวาน. วิศวกรรมสาร มข., *38*(1), 53-63.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. (2545). *กล้วย* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชศาสตร์. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยะวัทย์ ทิพรส. (2544). การใช้มอลโทเด็กซ์ทรินร่วมกับซูโครสเพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเอสโพรินติ้ง เฮ้าส์.

ศิริพร ตันจอ, ครรชิต จุดประสงค์ และ ประภาศรี ภูวเสถียร. (2553). อินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อสุขภาพ. วารสารโภชนาการ, *45*(2), 2-13.

อทิพัฒน์ บุญเพิ่มราศรี. (2554). กล้วยไข่ไม้ผลทองคำแห่งยุค. วารสารเคหการเกษตร, *35*(6), 142-147.

Agarry, S.E. and Owabor, C.N. (2012). Ststistical optimization of process variables for osmotic dehydration of Okra (*Abelmoschus esculentus*) in sucrose solution. *Nigerian Journal of Technology*, *31*(3), 370-382.

Ali, H.S., Moharram, H.A., Ramadan, M.T. and Ragab, G.H. (2010). Osmotic dehydration of banana rings and tomato halves. *Journal of American Science, 6*(9), 383-390.

Ail Khan, M., Shukla, R.N. and Zaidi, S (2011). Mass transfer during osmotic dehydration of apple using sucrose, fructose and maltodextrin solution. In ICEF11 International Congress on Engineering and food, May 22-26, 2011 (pp. 81-86). Greece: Cosmosware.

Aminzadeh, R., Abarzani, M. and Sargolzaei, J. (2010). Preserving melon by osmotic dehydration in a ternary system. *World Academy of Science, Engineering and Technology, 44*, 1337-1343.

AOAC. (1990). *Official Method of Analysis (15th ed.)*. Arlington, Viyginia, USA: The Association of official Analysis Chemists.

Atares, L., Sousa Gallagher, M.J. and Oliveira, F.A.R. (2011). Process conditions effect on the quality of banana osmotically dehydrated. *Journal of Food Engineering*, *103*(4), 401-408.

Azoubel, P.M. and Murr, F.E.X. (2010). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61, 291-295.

Camila, D.M.C., Ana, C.K.S., Renata, V.T., Miriam, D.H. and Rosiane, L.C., 2012, Effect of process variables on the osmotic dehydration of star-fruit slices. *Cienc. Tecnol. Aliment., Campinas*, *32*(2), 357-365.

Chavan, U.D. (2012). Osmotic dehydration process for preservation of fruit and vegetables. *Journal of Food Research*, *1*(2), 202-209.

Khan, M.R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruit preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences, 22*(2), 71-85.

Matusek, A., Czukor, B. and Meresz, P. (2008). Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9, 365-373.

Rao, V.A. (2001). The prebiotic properties of oligofructose at low intake levels. *Nutrition Research*, 21, 843-848.

Roberfroid, M.B. (2000). Chicory fructooligosaccharides and gastrointestinal tract. *Nutrition*, 16, 677-679.

Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, *4*(6), 303-324.