

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

สุภาพรพรณ คองสมเพ็ชร์¹ และ วิชmani ยืนยงพุททกาล^{1*}
Supapun Khongsomphet¹ and Wichamanee Yuenyongputtakal^{1*}
¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตส (30-50 กรัมต่อ 100 กรัม) และซูโครส (10-20 กรัมต่อ 100 กรัม) ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม ในการเตรียมสารละลายออสโมติกต่อลักษณะคุณภาพบางประการของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสมีผลต่อค่าถ่วงมวลสาร ค่าสี ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส ($p \leq 0.05$) การใช้โอลิโกฟรุคโตสและซูโครสในระดับสูงร่วมกัน ทำให้กล้วยไข่มีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (ร้อยละ 24.05) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 2.35) สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าต่างๆ 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 Klui 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 Klui Khai ($p \leq 0.05$). It was found that at high level of oligofructose and sucrose combination Klui Khai had the maximized water lose (24.05%) and solid gain (2.35%) ($p \leq 0.05$). These osmosed Klui 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 : Klui Khai / osmotic solution / oligofructose / sucrose

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

1. บทนำ

การแช่ผักผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิส เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ระหว่างเซลล์ผักผลไม้และสารละลายออสโมติก ทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ผักผลไม้ไปยังสารละลาย ขณะเดียวกัน ตัวถูกละลายจากสารละลายแพร่เข้าสู่เซลล์ผักผลไม้ ทำให้ผักผลไม้มีปริมาณน้ำลดลงและปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น (Azoubel and Murr, 2010) ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการออสโมซิสโดยตรง โดยทั่วไป นิยมใช้น้ำเชื่อมชูโครสเป็นสารละลายออสโมติก เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก สะดวกแก่การใช้งาน และมีแรงดันออสโมติกสูง อย่างไรก็ตามชนิดของน้ำตาลมีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทมวลสาร Ail Khan *et al.* (2011) พบว่า การใช้น้ำตาลที่มี น้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น ฟรุคโตส สามารถเร่งการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นแอปเปิ้ลได้มากกว่าการใช้น้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น ซูโครสและมอลโตเด็คทรีน นอกจากนี้การเลือกใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดัน ออสโมติกมาก สามารถเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้ (Chavan, 2012) อย่างไรก็ตามการใช้สารละลาย ออสโมติกที่เข้มข้นมากเกินไปอาจทำให้เกิดผลึกน้ำตาลเคลือบที่ชั้นผิวหน้าของชิ้นอาหาร ทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำและ ตัวถูกละลายระหว่างการออสโมซิสได้ (Tortoe, 2010) นอกจากนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานมากเกินไป ส่งผลเสียต่อสุขภาพ ปัจจุบันแนวโน้มของผู้บริโภคมีความใส่ใจเกี่ยวกับสุขภาพมากขึ้น ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อลดปริมาณน้ำตาลลง หรือใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลชูโครส (Roberfroide, 2000) น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสเป็นน้ำตาลประเภทโพลีแซคคาไรด์ ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุคโตสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว 2-10 โมเลกุล มีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย จึงส่งผลดีต่อสุขภาพ (Rao, 2001) ในปัจจุบันมีการนำโอลิโกฟรุคโตสมาใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้เป็นสารทดแทนน้ำตาลและเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ เสริมอาหาร ผลิตภัณฑ์นมและเครื่องดื่ม (ศิริพร และคณะ, 2553) แต่เนื่องจากโอลิโกฟรุคโตสเป็นน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง การนำมาใช้เป็นสารละลายออสโมติกทำให้อัตราการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นผลไม้ต่ำ (Matusek *et al.*, 2008) การเตรียมสารละลาย ออสโมติกในลักษณะสารละลายผสมที่มีส่วนผสมของน้ำตาลหรือการใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมด้วย จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเสริม แรงขับในการถ่ายเทมวลสารและสามารถปรับปรุงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ได้ (Khan, 2012) กล้วยไซเป็นผลไม้ที่มี คุณภาพในการผลิตและส่งออกชนิดหนึ่ง ทำรายได้ให้กับประเทศปีละหลายล้านบาท อย่างไรก็ตาม กล้วยไซมีอายุการเก็บรักษา สั้น (อิทธิพัฒน์, 2554) การยืดอายุการเก็บรักษาและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ จึงน่าจะช่วยเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบกล้วยไซได้ นอกจากนี้ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารละลายผสมในกระบวนการออสโมซิสของกล้วยไซมาก่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและชูโครสต่อลักษณะคุณภาพด้านต่างๆ ของกล้วยไซหลังการ ออสโมซิส ได้แก่ ค่าการถ่ายเทมวลสาร ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

2. วิธีการ

2.1 การเตรียมวัตถุดิบกล้วยไซ

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

2.2 การดองน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

เตรียมสารละลายออสโมติกซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างโอลิโกฟรุคโตส (Beneo Orafit, Belgium) ความเข้มข้น 30-50 กรัมต่อ 100 กรัม และชูโครส (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 กำหนดค่ารหัสและค่าจริงในการแปรความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและชูโครสดังตารางที่ 1 โดยละลาย โอลิโกฟรุคโตส ซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ตามปริมาณกำหนดในน้ำสะอาดให้ความร้อนจนเดือด แล้วทิ้งไว้ให้สารละลายเย็น ก่อนนำมาใช้งาน จากนั้นบรรจุชิ้นกล้วยไซและสารละลายออสโมติกในโหลแก้ว กำหนดอัตราส่วนระหว่างชิ้นกล้วยไซและ สารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:3 (โดยน้ำหนัก) ออสโมซิสที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำชิ้น กล้วยไซมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออก วางพักบนตะแกรงเป็นเวลา 3 นาที แล้วซับด้วยกระดาษ สุ่มตัวอย่างกล้วยไซ หลังการออสโมซิสมาวิเคราะห์คุณภาพ

2.3 การวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL)} = \frac{(W_0 M_0 - W_1 M_1) \times 100}{W_0}$$

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

เมื่อ W_0 และ W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้นและหลังการอบสไมซิส (กรัม) ตามลำดับ

M_0 และ M_t คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้นและหลังการอบสไมซิส (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง) ตามลำดับ

2) ค่า L , a และ b โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab รุ่น Miniscan XP plus, USA) และคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไซสด 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 และค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยไซสด และ L , a และ b คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยไซสหลังการอบสไมซิส

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 โดยการจัดตั้งทดลองแบบ 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

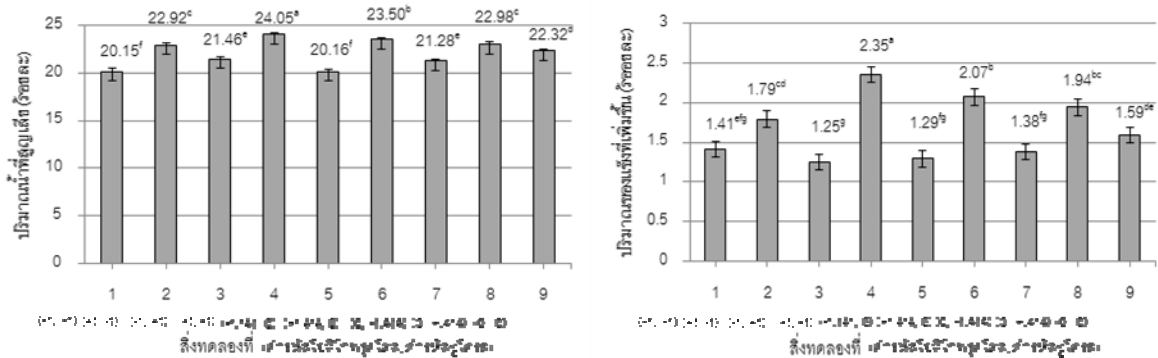
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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) ทำให้กล้วยไซมีค่า WL และ SG สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 24.05 และ 2.35 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีความเข้มข้นสูงจึงเกิดแรงดันออสโมติกมาก นอกจากนั้นการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลาย ออสโมติกความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานทำให้เกิดปรากฏการณ์พลาสโมไลซิส มีผลทำให้ความแข็งแรงของผนังเซลล์ลดลงส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มาก (นวกัฑรา และอมรรัตน์, 2554) การถ่ายเทมวลสารหลักที่เกิดขึ้นคือ เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์กล้วยไซไปยังสารละลาย ขณะเดียวกันตัวถูกละลายจากสารละลายแพร่เข้าสู่เซลล์กล้วยไซ โดยเกิดแบบสวนทางกัน จึงทำให้สารละลายที่ 4 นี้ ทำให้กล้วยไซมีค่า WL และ SG สูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (-1, -1) และสิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งหมายถึง การใช้โอลิโกฟรุคโตสในระดับต่ำที่สุดร่วมกับซูโครสในระดับกึ่งกลาง (-1.414, 0) ทำให้กล้วยไซมีค่า WL และ SG ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ทำให้กล้วยไซมีค่า 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) ที่ศึกษาการอบสไมซิสในกระเจียบเขียว พบว่า การใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำทำให้แรงขับในระบบการอบสไมซิสต่ำ มีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้น้อยถึงแม้ว่าจะใช้เวลานาน การอบสไมซินาน

โดยภาพรวมของการทดลองพบว่า การใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตสความเข้มข้น 30-50 กรัมต่อ 100 กรัม และซูโครสความเข้มข้น 10-20 กรัมต่อ 100 กรัม ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อ 100 กรัม มีผลให้กล้วยไซมีปริมาณน้ำที่สูญเสียอยู่ในช่วงร้อยละ 20.15-24.05 และมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.25-2.35 แสดงให้เห็นว่า ในการแช่ชิ้นกล้วยไซลงในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารตามความมุ่งหมายหลักของการอบสไมซิสคือ การกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผักผลไม้ แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบสไมซิสร่วมด้วย



ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของโพลิโพรพิลีนไดออกไซด์และซูโครส ร่วมกับการใช้ไซเดียมคลอไรด์ (^{a-c} คือ ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$))

สีเป็นสมบัติกายภาพของอาหารที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สีของอาหารมักเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ง่ายในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร แต่การออสโมซิสเป็นการแปรรูปแบบไม่รุนแรง ซึ่งมีส่วนช่วยในการรักษาการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อน (Tortoe, 2010) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพด้านสีของชิ้นผลไม้หลังการออสโมซิส จากตารางที่ 2 พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิโพรพิลีนไดออกไซด์ร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) ทำให้กล้วยไข่มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุดแต่มีค่าความเป็นสีแดงต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีเหลืองสว่างมากขึ้น ไม่ดำคล้ำ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองนี้ใช้สารละลายน้ำตาลผสมความเข้มข้นสูงโดยน้ำตาลทำหน้าที่เคลือบชิ้นอาหารไม่ให้เกิดสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ จึงมีสมบัติในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นรอบๆ ชิ้นผลไม้ได้ (Khan, 2012) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิโพรพิลีนไดออกไซด์ร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (-1, -1) ทำให้กล้วยไข่มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุดแต่มีค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งกล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีสีคล้ำลงเล็กน้อย เนื่องจากสิ่งทดลองนี้ใช้สารละลายน้ำตาลผสมความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ จึงอาจเคลือบชิ้นกล้วยไข่ได้ไม่หนาทั่วถึงเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้กล้วยไข่ทุกสิ่งทดลองผ่านการเตรียมชิ้นต้นโดยการแช่ในสารละลายกรดซิตริกซึ่งสามารถช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของผักผลไม้ระหว่างการออสโมซิสได้ เนื่องจากสภาวะกรดทำให้โพลีฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้ ไม่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Camaila *et al.*, 2011) ทำให้กล้วยไข่หลังการออสโมซิสทุกสิ่งทดลองจึงยังคงมีสีเหลืองและไม่ดำคล้ำมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไข่สด พบว่า กล้วยไข่หลังการออสโมซิสมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในช่วง 7.15-11.75 ผลการทดลองนี้มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีใกล้เคียงกันกับงานวิจัยของ Atores *et al.* (2011) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซูโครสต่อคุณภาพด้านสีของกล้วยหอมหลังการออสโมซิสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าการใช้ซูโครสความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 45-65 ทำให้กล้วยหอมหลังการออสโมซิสมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในช่วง 7-15 ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรักษาคุณภาพด้านสีไว้ได้ใกล้เคียงกับกล้วยหอมสด

สีของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสเป็นผลเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสารด้วย โดยผักผลไม้ที่มีน้ำแพร่ออกจากเซลล์มากและมีของแข็งแพร่เข้าไปในเซลล์มาก มีผลให้เซลล์เรียงชิดติดกันมากขึ้น ของแข็งในเซลล์มากขึ้น ทำให้เกิดความหนาแน่นของของแข็งในเซลล์เป็นผลให้เกิดการสะท้อนแสงน้อยลง ผลิตภัณฑ์จึงมีสีเข้มขึ้น (Tortoe, 2010; Khan, 2012) ดังนั้นผลของการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มสีเข้มขึ้นหากเปรียบเทียบกับสีของกล้วยไข่สด ($L^* a^*$ 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 การใช้โพลิโพรพิลีนไดออกไซด์ร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) และสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิโพรพิลีนไดออกไซด์ในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) ทำให้กล้วยไข่มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 155.69 และ 153.48 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิโพรพิลีนไดออกไซด์ร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (-1, -1) และสิ่งทดลองที่ 7 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิโพรพิลีนไดออกไซด์ในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับต่ำที่สุด (0, -1.414) มีแนวโน้มค่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ต่ำ Tortoe (2010) กล่าวว่า เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสเกี่ยวข้องกับสัมพันธภาพกับชนิดและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นหลังการออสโมซิส กล่าวคือ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นจากการออสโมซิสมีผลทำให้ชิ้นผลไม้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากโมเลกุลน้ำตาลสามารถแทรกเข้าไปอยู่ที่ช่องว่างของเซลล์ ซึ่งทำให้เซลล์ผลไม่มีความหนาแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น จึงมีส่วนช่วยให้ชิ้นผลไม้มีความแน่นเนื้อมากขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าโมเลกุลของซูโครสที่แพร่เข้าไปในเซลล์ผลไม้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโพลีแซ็กคาไรด์ในผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของผลไม้หลังการออสโมซิสยังคงมีความแน่นเนื้อดี (งามจิตร์, 2551)

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดคือ ผลรวมของของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมดในน้ำคั้นจากผักผลไม้ เช่น น้ำตาล เกลือ โปรตีน กรดอินทรีย์ เป็นต้น ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แสดงถึงผลรวมของน้ำตาลนอนรีดิวซ์ (Non-Reducing sugar) เช่น ซูโครสและน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) เช่น กลูโคสและฟรุคโตส (นิธิยา, 2549) เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจากตารางที่ 3 พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิฟรุคโตสและซูโครสในระดับสูง (+1, +1) และสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิฟรุคโตสในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) ทำให้กล้วยไซม์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด ($p < 0.05$) คือ 44.00 และ 43.33 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลองมีการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงทำให้เกิดแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ผลไม้และสารละลายออสโมติกมาก เยื่อเลือกผ่านของเซลล์จึงยอมให้โมเลกุลของตัวถูกละลายแพร่เข้าไปในชั้นผลไม้ได้มาก และเมื่อสังเกตปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของกล้วยไซม์ในสิ่งทดลองที่ 2 ที่มีการใช้โพลิฟรุคโตสในระดับสูงร่วมกับซูโครสในระดับต่ำ (+1, -1) และสิ่งทดลองที่ 8 ที่มีการใช้โพลิฟรุคโตสในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) ตามลำดับ พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 8 ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณซูโครสมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าโพลิฟรุคโตส เนื่องจากโพลิฟรุคโตสเป็นน้ำตาลประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (828 กรัมต่อโมล) จึงแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในชั้นกล้วยไซม์ได้ยากและช้ากว่าซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลประเภทไดแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (342.30 กรัม ต่อโมล) (Khan, 2012) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยะวิทย์ (2544) ที่รายงานว่า ซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกที่ดี เนื่องจากซูโครสมีขนาดโมเลกุลเล็ก มีสมบัติการละลายที่ดีและกระจายตัวในน้ำได้เร็ว โมเลกุลซูโครสจึงสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากกว่ามอลโตเดกซ์ตรินที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สำหรับด้านปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิฟรุคโตสร่วมกับซูโครสในระดับสูง (+1, +1) สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งหมายถึง การใช้โพลิฟรุคโตสในระดับกึ่งกลางร่วมกับซูโครสในระดับสูงที่สุด (0, +1.414) และสิ่งทดลองที่ 6 ซึ่งหมายถึงการใช้โพลิฟรุคโตสในระดับสูงที่สุดร่วมกับซูโครสในระดับกึ่งกลาง (+1.414, 0) ทำให้กล้วยไซม์มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 16.24 16.22 และ 15.96 ตามลำดับ ซึ่งพบแนวโน้มคล้ายกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด นั่นคือการใช้สารละลายออสโมติกผสมความเข้มข้นสูงมีผลทำให้กล้วยไซม์มีค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงด้วย

ตารางที่ 2 ค่าความสว่าง (L) ค่าความเป็นสีแดง (a) ค่าความเป็นสีเหลือง (b) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE) ของกล้วยไซม์หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตสและซูโครส ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์

สิ่งทดลองที่	ค่ารหัส		ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	โพลิฟรุคโตส	ซูโครส	L	a	b	ΔE
1	-1	-1	62.29 \pm 0.42	12.02 ^a \pm 0.03	43.92 ^d \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 ^e \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

^{abc} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกล้วยไซม์หลังการออสโมซิส 6 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของโพลิฟรุคโตสและซูโครส ร่วมกับการเติมโซเดียมคลอไรด์

สิ่งทดลองที่	ค่ารหัส		ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	โพลิฟรุคโตส	ซูโครส	ค่าความแน่นเนื้อ (กรัม)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
1	-1	-1	105.64 ^b \pm 1.95	27.67 \pm 0.58	13.47 ^a \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 ^e \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

^{abc} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. บทสรุป

การใช้สารละลายออสโมติกที่เตรียมจากโพลิโกฟรุคโตสความเข้มข้น 30-50 กรัมต่อ 100 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.)

6. เอกสารอ้างอิง

- งามจิตร โลวิฑูร. (2551). การปรับปรุงคุณภาพของเงาะแช่เยือกแข็งโดยวิธีออสโมติกไฮเดรชันด้วยน้ำตาลบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นวกัทธา หนูนาถ และ อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. (2554). จลนศาสตร์การถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติกไฮโปออสโมติก. วิศวกรรมสาร มข., 38(1), 53-63.
- เบญจมาศ ศิลาชัย. (2545). กล้วย (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชศาสตร์, คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยะวิทย์ ทิพรส. (2544). การใช้หมอลโตเด็กซ์ทรินร่วมกับซูโครสเพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับประดด้วยวิธีออสโมติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. (2549). เคมีอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเอสโพรินติง เฮ้าส์.
- ศิริพร ตันจ้อ, ครรชิต จุดประสงค์ และ ประภาศรี ภูวเสถียร. (2553). อินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อสุขภาพ. วารสารโภชนาการ, 45(2), 2-13.
- อทิพัฒน์ บุญเพิ่มศรี. (2554). กล้วยไข่ไม่ผลของค่าแห่งยุค. วารสารเคหการเกษตร, 35(6), 142-147.
- Agarry, S.E. and Owabor, C.N. (2012). Statistical 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, Virginia, 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.