



ผลของความเข้มข้นของเฟอร์รากลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตท
ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส
ต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของฝรั่ง

Effect of Ferrous Gluconate and Calcium Lactate Combined
with Vacuum Osmotic Dehydration on Mass Transfer
and Quality of Guava

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล^{1*} ณัฐริกา ไรจนเกียรติถาวร¹ และ นันทมน ใหม่ยศ¹

บทคัดย่อ

วิธีออสโมซิสเป็นการเตรียมขั้นต้นที่สามารถลดปริมาณน้ำบางส่วนออกจากผักผลไม้ก่อนการนำไปทำแห้งได้และยังสามารถเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยการแพร่จากสารละลายออสโมติกเข้าสู่ชิ้นผักผลไม้ได้ งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยด้านความเข้มข้นของเฟอร์รากลูโคเนต ความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสฝรั่ง พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อความแน่นเนื้อของฝรั่งหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเฟอร์รากลูโคเนต และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อปริมาณหลักของฝรั่งหลังการออสโมซิส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อปริมาณแคลเซียมของฝรั่งหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของเฟอร์รากลูโคเนต ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้ความเข้มข้นของเฟอร์รากลูโคเนต หรือแคลเซียมแลคเตทในระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลให้ฝรั่งหลังการออสโมซิส มีปริมาณหลัก และ ปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 26.57 และ 60.13 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

* Corresponding Author, E-mail: wich@buu.ac.th

ABSTRACT

Osmotic dehydration is a pre-treatment method used prior to drying for partially removal of water from fruit and vegetable. It also results in enriched the physiologically active compound inflow from the osmotic solution into fruit and vegetable pieces. The influence of factor variations in ferrous gluconate concentration, calcium lactate concentration and vacuum impregnation treatment for osmotic dehydration of guava were studied. It was found that all three factors influenced osmosed guava firmness ($p \leq 0.05$). Interaction of ferrous gluconate concentration and vacuum impregnation treatment had an effect on iron content of osmosed guava ($p \leq 0.05$). Similarly trend was observed that both calcium lactate concentration and vacuum impregnation treatment together influenced calcium content of osmosed guava ($p \leq 0.05$). Each main factor of ferrous gluconate concentration, calcium lactate concentration and vacuum impregnation treatment affected content of water loss, solid gain and weight reduction ($p \leq 0.05$). The addition of high concentration of ferrous gluconate and calcium lactate (2%) resulted the osmosed guava had the highest iron and calcium content as 26.57 and 60.13 mg/100 g, respectively.

คำสำคัญ: ฝรั่ง เหล็ก แคลเซียม การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

Keywords: Guava, Iron, Calcium, Vacuum osmotic dehydration

บทนำ

วิธีออสโมซิสจัดเป็นการเตรียมขั้นต้นก่อนการนำผักผลไม้ไปทำแห้งด้วยความร้อน เป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากชิ้นผักผลไม้อย่างช้า ๆ โดยชิ้นผักผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่าง ๆ เพียงเล็กน้อย ผลกระทบยังคงมีสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และคุณค่าทางอาหาร ใกล้เคียงของสด การออสโมซิสทำได้โดยแช่ชิ้นผักผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง โดยมีผลให้มีการถ่ายเทมวลสารแบบสวนทางกันระหว่างชิ้นผักผลไม้กับสารละลายออสโมติก กลไกที่สำคัญคือน้ำที่อยู่ในเซลล์ผักผลไม้จะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกมาสู่สารละลายเนื่องจากแรงดันออสโมติก ในขณะที่เดียวกันตัวถูกละลายที่อยู่ในสารละลายออสโมติก เช่น น้ำตาลหรือเกลือ จะแพร่เข้า

สู่เซลล์ผักผลไม้ และสารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ เช่น กรดอินทรีย์ และเกลือแร่ จะแพร่ออกมาสู่สารละลาย (Torreeggiani, 1993; Erba et al., 1994) จากกลไกการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้น มีนักวิจัยประยุกต์ใช้วิธีการออสโมซิสเพื่อลดปริมาณน้ำในชิ้นผักผลไม้และเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically active compound) โดยการเติมสารที่มีประโยชน์ในสารละลายออสโมติก เช่น แร่ธาตุและสารพฤกษเคมี ทำให้เกิดการแพร่ของสารที่มีประโยชน์ดังกล่าวเข้าสู่ชิ้นผักผลไม้ ตัวอย่างเช่น การเสริมธาตุเหล็กในชิ้นแอปเปิ้ล การเสริมธาตุแคลเซียมในชิ้นมะม่วง มะเขือยาว แครอท และเห็ดนางฟ้า และการเสริมสารเคอร์คูมินอยด์ในชิ้นมะพร้าว (Gras et al., 2003; Barrera et al., 2004; Torres et al., 2006;

Ashwini et al., 2011) งานวิจัยนี้สนใจเสริมธาตุเหล็กและแคลเซียมในฝรั่ง เนื่องจากฝรั่งมีปริมาณแร่ธาตุดังกล่าวค่อนข้างต่ำ ฝรั่งสดมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมประมาณ 0.5 และ 13 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ (เบญจพร, 2550) เหล็กจัดเป็นแร่ธาตุประเภทที่ร่างกายต้องการปริมาณน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน แต่มีความสำคัญ เช่น เป็นส่วนประกอบฮีโมโกลบิน และเอนไซม์ต่างๆหลายชนิดในสมอง รวมถึงมีบทบาทในการทำงานของเม็ดเลือดขาว สำหรับแคลเซียมจัดเป็นแร่ธาตุประเภทที่ร่างกายต้องการปริมาณมากกว่า 100 มิลลิกรัม/วัน มีความจำเป็นต่อร่างกาย เช่น เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน ช่วยในการสร้างฮอร์โมนและเอนไซม์ รวมถึงมีบทบาทในการนำสัญญาณสื่อประสาท และการหดตัวของกล้ามเนื้อ (ประสงค์, 2549; อัจฉริยะ, 2527) การเสริมแร่ธาตุทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคได้รับแร่ธาตุในปริมาณที่เพียงพอ จากการตรวจสอบเอกสารพบว่าการเสริมธาตุเหล็กและแคลเซียมในชิ้นแอปเปิ้ลด้วยวิธีออสโมซิส (Barrera et al., 2004) แต่ยังไม่พบการเสริมธาตุเหล็กและแคลเซียมในฝรั่งด้วยวิธีออสโมซิส

การแช่ชิ้นผักผลไม้ในสภาวะสุญญากาศในระยะเวลานาน ๆ ก่อนการออสโมซิส มีผลทำให้เกิดรูพรุน (porosity) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ของชิ้นผักผลไม้ จึงสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสได้ (Torres et al., 2006) อย่างไรก็ตามการใช้สภาวะสุญญากาศกับเนื้อเยื่อผักผลไม้บางชนิดอาจทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างมากและมีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้ต้องการเสริมแร่ธาตุให้กับชิ้นฝรั่งโดยการเติมสารที่ต้องการลงในสารละลายออสโมติกดังนี้ เสริมธาตุเหล็กในรูปแบบเฟอร์ริกคลอไรด์ และเสริมธาตุแคลเซียมในรูปแบบแคลเซียมแลคเตท โดยศึกษาผลการใช้สภาวะ

สุญญากาศร่วมด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของฝรั่ง ด้านปริมาณเหล็ก ปริมาณแคลเซียม และความแน่นเนื้อของฝรั่งหลังการออสโมซิส

วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างฝรั่ง

ใช้ฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่แก่จัด มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 9 ± 1 °Brix และค่า pH 4.0 ± 0.5 ล้างแล้วผ่าเอาเมล็ดออก หั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ $3 \times 4 \times 1$ เซนติเมตร แช่ชิ้นฝรั่งในสารละลายผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิก 1% และกรดซิตริก 0.2% เป็นเวลา 5 นาที

การออสโมซิส

เตรียมสารละลายออสโมติกในรูปสารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุคโตส (Beneo-Orafti, Food grade) 35% และซูโครส (ตรามิตรผล, Food grade) 15% เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ (Sigma-Aldrich, AR grade) และแคลเซียมแลคเตท (Merck, AR grade) ตามปริมาณที่กำหนด และเติม Ethylene diaminetetra acetic acid (EDTA) (Fisher Scientific, AR grade) ความเข้มข้น 0.5% ในทุกสิ่งทดลอง เพื่อลดการเกิดสีคล้ำในชิ้นฝรั่ง การแช่ในสภาวะสุญญากาศทำได้โดยบรรจุชิ้นฝรั่งและสารละลายออสโมติกในขวดรูปชมพู่ กำหนดอัตราส่วนน้ำหนักสารละลายออสโมติกต่อชิ้นฝรั่งเท่ากับ 3:1 ปิดด้วยจุกยางให้เป็นระบบปิดและเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศ กำหนดใช้ความดัน 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 15 นาที แล้วแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 7 ชั่วโมง

ในการทดลองนี้แปรรูปปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ คือ 1% และ 2% ปัจจัยที่ 2 ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท คือ 1% และ 2% และ ปัจจัยที่ 3 การใช้สภาวะสุญญากาศ คือ ใช้ และ ไม่ใช้ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2x2x2 ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง

การคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสารและการวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างฝรั่งหลังการออสโมซิส แล้วนำมาล้างน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินออก ซับให้แห้ง ชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) แล้วคำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ดังนี้

- ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL)

$$WL (\%) = \frac{(W_0 M_0 - W_t M_t)}{W_0} \times 100$$

- ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG)

$$SG (\%) = \frac{[W_t (1-M_t) - W_0 (1-M_0)]}{W_0} \times 100$$

- ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reducing; WR)

$$WR (\%) = \frac{(W_0 - W_t)}{W_0} \times 100$$

เมื่อ W_0 และ W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้นและหลังการออสโมซิส (กรัม) ตามลำดับ M_0 และ M_t คือ ความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้นและหลังการออสโมซิส (กรัม/น้ำ/กรัมตัวอย่าง) ตามลำดับ

สุ่มตัวอย่างขึ้นฝรั่งหลังการออสโมซิสมานำมาวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ดังนี้ ปริมาณหลัก ด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตริก (Kosse et al., 2001) และ ปริมาณแคลเซียม ด้วยวิธีไทเทรต (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990) ค่าความแน่นเนื้อ รายงานโดยใช้ค่าเฉลี่ยแรงกดสูงที่สุดจากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA-XT2) ใช้หัววัดทรงกระบอก

เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และความเร็วในการกด 1.5 มิลลิเมตร/วินาที

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD วิเคราะห์ผลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรม SPSS Version 17

ผลการวิจัยและวิจารณ์

สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการแปรรูปปัจจัยด้านความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศต่อคุณภาพที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของฝรั่งด้านปริมาณหลัก ปริมาณแคลเซียม และความแน่นเนื้อ แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ด้านความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อปริมาณหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแคลเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่า ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รายละเอียดการวิจารณ์ผลการวิจัยมีดังนี้

1) ค่าการถ่ายเทมวลสาร

เนื่องจากค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่ามีอิทธิพลจากปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ จึงสามารถแสดงผลดังตารางที่ 2 ถึง 4 จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์และความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) มีค่า WL SG และ WR มากกว่าการใช้ความเข้มข้นในระดับต่ำ (1%) ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทุกสิ่งทดลองเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสได้ โดยน้ำในชั้นฝรั่งสามารถแพร่ออกมานอกเซลล์ ตัวถูกละลายซึ่งเป็นของแข็งในสารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ โดยแพร่เข้าไปในปริมาณ

น้อยกว่าน้ำที่แพร่ออก เป็นผลให้ชั้นฝรั่งมีน้ำหนักลดลง การเติมตัวถูกละลาย ได้แก่ เฟอร์ริกคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตทเพิ่มขึ้น มีผลให้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น จึงส่งผลให้เพิ่มความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกกับสารละลายภายในเซลล์ของชั้นฝรั่ง ส่งผลให้เกิดแรงขับมากขึ้น จึงมีโอกาสดเกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้นได้ นอกจากนี้ในกรณีการใช้แคลเซียมแลคเตทร่วมด้วยมีโอกาสให้เกิดพันธะระหว่างแคลเซียมไอออนกับองค์ประกอบของผนังเซลล์ผักผลไม้ เช่น เพคติน ทำให้เกิดผลึกของแคลเซียมเพคเตทที่มีลักษณะแหลมคมสามารถทิ่มแทงเซลล์ผักผลไม้ จึงทำให้เนื้อต่อการถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น (Lewicki et al., 2002)

ตารางที่ 1 p-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการแปรปัจจัยความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ (Fe) และความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท (Ca) และการใช้สภาวะสุญญากาศ (Vac) ต่อคุณภาพที่วิเคราะห์

คุณภาพที่วิเคราะห์	ปัจจัย						
	Fe	Ca	Vac	FexCa	FexVac	CaxVac	FexCaxVac
ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	0.000 ^{sig}	0.019 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.655 ^{ns}	0.199 ^{ns}	0.764 ^{ns}	0.948 ^{ns}
ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น	0.000 ^{sig}	0.001 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.321 ^{ns}	0.687 ^{ns}	0.613 ^{ns}	0.606 ^{ns}
ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง	0.000 ^{sig}	0.034 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.586 ^{ns}	0.180 ^{ns}	0.792 ^{ns}	0.908 ^{ns}
ปริมาณเหล็ก	0.000 ^{sig}	0.630 ^{ns}	0.000 ^{sig}	0.459 ^{ns}	0.038 ^{sig}	0.965 ^{ns}	0.993 ^{ns}
ปริมาณแคลเซียม	0.381 ^{ns}	0.000 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.087 ^{ns}	0.143 ^{ns}	0.041 ^{sig}	0.205 ^{ns}
ความแน่นเนื้อ	0.000 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.000 ^{sig}	0.000 ^{sig}

หมายเหตุ: ^{sig} หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่อคุณภาพที่วิเคราะห์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพที่วิเคราะห์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p > 0.05$)

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของฝรั่งหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์แตกต่างกัน

เฟอร์ริกคลอไรด์ (%)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (%)		
	WL	SG	WR
1	20.82 $\pm$ 5.41 ^b	5.00 $\pm$ 1.69 ^b	15.82 $\pm$ 3.76 ^b
2	24.06 $\pm$ 4.81 ^a	5.69 $\pm$ 1.60 ^a	18.36 $\pm$ 3.11 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง (WR) ของฝรั่งหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทแตกต่างกัน

แคลเซียมแลคเตท (%)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (%)		
	WL	SG	WR
1	21.84 $\pm$ 5.45 ^b	5.25 $\pm$ 1.74 ^b	16.58 $\pm$ 3.75 ^b
2	23.04 $\pm$ 5.28 ^a	5.44 $\pm$ 1.73 ^a	17.60 $\pm$ 3.58 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักรที่ลดลง (WR) ของฝรั่งหลังการออสโมซิสเมื่อแปรการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

การใช้สภาวะสุญญากาศ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (%)		
	WL	SG	WR
ใช้	27.15 $\pm$ 1.61 ^a	6.93 $\pm$ 0.39 ^a	20.21 $\pm$ 1.27 ^a
ไม่ใช้	17.73 $\pm$ 2.26 ^b	3.76 $\pm$ 0.38 ^b	13.97 $\pm$ 1.88 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4 พบว่าสิ่งทดลองที่มีการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย มีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 27.15 6.93 และ 20.21% ตามลำดับ มากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ใช้สภาวะสุญญากาศที่มีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 17.73 3.76 และ 13.97% ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการแช่ในสภาวะสุญญากาศเป็นการลดความดันอากาศลง มีผลทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ผักผลไม้ถูกบีบอัดให้ยุบตัวลง และอากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์อาจถูกดูดออกมาด้วย จึงทำให้มีลักษณะมีความเป็นรูมากขึ้น เมื่อนำมาแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศจึงทำให้เนื้อเยื่อผักผลไม้เกิดการคลายตัวเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น โดยน้ำหรือสารต่าง ๆ ที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์สามารถแพร่และถ่ายเทมวลได้ง่ายขึ้น จากผนังเซลล์ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความเป็นรูมากขึ้น (Fito et al., 1996; Chafer et al., 2003) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Matusek et al. (2008) รายงานว่าการแช่ชิ้นแอปเปิ้ลในสภาวะสุญญากาศก่อนการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ ช่วยเพิ่มแรงขับในการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้มากกว่าการไม่แช่ในสภาวะ

สุญญากาศ โดยการแช่ในสภาวะสุญญากาศก่อนการออสโมซิสสามารถช่วยเพิ่มการแพร่ของน้ำให้เพิ่มขึ้นประมาณ 10%

2) ปริมาณเกลือและปริมาณแคลเซียม

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีปริมาณเกลือและปริมาณแคลเซียมให้ผลคล้ายคลึงกัน คือ อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ระหว่างความเข้มข้นของเฟอรัสกลูโคเนตหรือความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท กับการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณเกลือและแคลเซียมของฝรั่งหลังการออสโมซิส จึงสามารถแสดงผลดังตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

จากตารางที่ 5 พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้เฟอรัสกลูโคเนตระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ฝรั่งหลังการออสโมซิสมีปริมาณเกลือสูงที่สุดเท่ากับ 26.57 มิลลิกรัม/100 กรัม ($p \leq 0.05$) และจากตารางที่ 6 พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้แคลเซียมแลคเตทระดับสูง (2%) ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ฝรั่งหลังการออสโมซิสมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 60.13 มิลลิกรัม/100 กรัม ($p \leq 0.05$) การใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วยสามารถกระตุ้นการแพร่ของ

ตัวถูกละลายได้ เนื่องจากที่สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดการบีบอัดทำให้เซลล์ผักผลไม้ยุบตัวลง เนื้อเยื่อจึงอ่อนนุ่มและมีลักษณะมีความเป็นรูที่เอื้อต่อการแพร่ของตัวถูกละลายได้มากขึ้น และการใช้ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตทในระดับสูง (2%) เป็นการช่วยเพิ่มโอกาสให้เฟอร์รัสไอออนหรือแคลเซียมไอออนสามารถแพร่เข้าไปในชั้นฝรั่งได้มากขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างเฟอร์รัสไอออนหรือแคลเซียมไอออนนอกและในเซลล์มีความแตกต่างกันมาก จึงเกิดแรงขับในการแพร่ของตัวถูกละลายดังกล่าว เข้าไปในชั้นฝรั่งได้มากขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fito et al. (2001) ที่ศึกษาการใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศ ในการเสริมธาตุแคลเซียมและธาตุเหล็กในมะเขือยาวและเปลือกส้ม โดยให้ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่า สามารถเสริมแคลเซียมและเหล็กในมะเขือยาวและเปลือกส้มได้ ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ การใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศสามารถช่วยให้เกิดการแพร่ของสารเข้าไปในโครงสร้างรูพรุนของผักผลไม้ได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Barrera et al., (2004) ได้ศึกษาการเสริมธาตุแคลเซียมและธาตุเหล็กให้กับโครงสร้างของเนื้อเยื่อขึ้นแอปเปิ้ล โดยการเติมแคลเซียมใช้ในรูปแคลเซียมแลคเตท และเติมเหล็กในรูปเฟอร์ริกคลอไรด์

ลงไปในสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสแล้วแช่แอปเปิ้ลในสภาวะสุญญากาศ พบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 12.297 กรัม/ลิตร กับ แคลเซียมความเข้มข้น 44.229 กรัม/ลิตร สามารถเสริมแคลเซียมได้ โดยทำให้แอปเปิ้ลมีแคลเซียมเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 23 เท่าของแอปเปิ้ลสด และการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 146.702 กรัม/ลิตร กับเหล็กความเข้มข้น 1.135 กรัม/ลิตร สามารถเสริมเหล็กให้กับแอปเปิ้ลได้เช่นกัน โดยมีเหล็กเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย 5.6 เท่าของแอปเปิ้ลสด จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่าแม้ใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทและเฟอร์ริกคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นเท่ากัน แต่ปริมาณการแพร่ของแคลเซียมและเหล็กเข้าไปในชั้นฝรั่งมีปริมาณแตกต่างกัน โดยพบว่าแคลเซียมสามารถแพร่เข้าไปได้มากกว่าเหล็ก ตัวอย่างเช่น การใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทเข้มข้น 2% ทำให้ฝรั่งมีปริมาณแคลเซียม 50-60 มิลลิกรัม/100 กรัม ในขณะที่การใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 2% ทำให้ฝรั่งมีปริมาณเหล็ก 22-26 มิลลิกรัม/100 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องจากแคลเซียมมีมวลโมเลกุล (40.0784) น้อยกว่าเหล็ก (55.8457) จึงสามารถแพร่เข้าไปในชั้นผลไม้ได้ง่ายกว่าทำให้ชั้นฝรั่งมีปริมาณแคลเซียมมากกว่าเหล็ก

ตารางที่ 5 ปริมาณเหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม) ของฝรั่งหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ และการใช้สภาวะสุญญากาศ

เฟอร์ริกคลอไรด์ (w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณเหล็กเฉลี่ย±SD (มิลลิกรัม/100 กรัม)
1	ใช่	14.03±0.57 ^c
	ไม่ใช่	11.78±0.53 ^d
2	ใช่	26.57±1.10 ^a
	ไม่ใช่	22.03±1.07 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 6 ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม) ของฝรั่งหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศ

แคลเซียมแลคเตท (w/w)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย $\pm$ SD (มิลลิกรัม/100 กรัม)
1	ใช่	20.10 $\pm$ 0.01 ^c
	ไม่ใช่	10.43 $\pm$ 0.30 ^d
2	ใช่	60.13 $\pm$ 0.06 ^a
	ไม่ใช่	50.13 $\pm$ 0.04 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3) ความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส จากผลการทดลองพบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย คือความเข้มข้นของเพอร์สกลูโคเนต ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อความแน่นเนื้อของฝรั่งหลังการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงสามารถแสดงผลดังตารางที่ 7 พบว่าสิ่งทดลองที่ใช้เพอร์สกลูโคเนตความเข้มข้น 1% แคลเซียมแลคเตทความเข้มข้น 2% และไม่ใช่สภาวะสุญญากาศมีความแน่นเนื้อสูงที่สุด คือ 339.83 นิวตัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายออสโมติก โดยแคลเซียมจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นจึงส่งผลให้เนื้อเยื่อฝักผลไม้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น โดยเกลือแคลเซียมจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออนและทำปฏิกิริยากับเพคตินในชั้นผลไม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างหมู่คาร์บอกซิล โดยแคลเซียมไอออน ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสายของเพคตินสายหนึ่ง ให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสายเพคตินอีกสายหนึ่ง เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตท ซึ่งมีสมบัติไม่ละลายน้ำทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงและแน่นเนื้อมากขึ้น (นิธิยา, 2549) ดังนั้นการใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทในระดับสูง (2%) จึงเป็นการเพิ่มโอกาสที่แคลเซียมไอออนสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ของชิ้นฝรั่งได้มากขึ้น ทำให้เพิ่มความแน่นเนื้อ

ได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนการไม่ใช่สภาวะสุญญากาศเป็นการลดโอกาสการถูกทำลายของโครงสร้างเซลล์ของชิ้นเนื้อฝรั่งลง จึงช่วยรักษาความแน่นเนื้อไว้ให้คล้ายของสดได้มากกว่า สำหรับการใส่เพอร์สกลูโคเนตในระดับต่ำ (1%) มีแนวโน้มให้ค่าความแน่นเนื้อของชิ้นฝรั่งมากกว่าการใช้เพอร์สกลูโคเนตในระดับสูง (2%) อาจเนื่องมาจากการมีเพอร์สไอออนที่แพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อมากอาจรบกวนการเกิดสารประกอบแคลเซียมเพคเตทหรือทำให้ความบริสุทธิ์ของแคลเซียมเพคเตทต่ำลงกว่าการมีเพอร์สไอออนที่แพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อน้อยกว่า ดังนั้นการใช้ เพอร์สกลูโคเนตในปริมาณน้อยจึงลดโอกาสการแพร่ของเพอร์สไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อ มีผลให้เนื้อเยื่อมีความแน่นเนื้อมากกว่า

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสฝรั่งโดยการแช่ชิ้นฝรั่งในสารละลายออสโมติกมีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้ โดยทำให้เกิดการสูญเสีย น้ำ สูญเสียน้ำหนัก และได้รับปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นในชิ้นฝรั่ง จึงมีความเป็นไปได้ที่สามารถใช้การออสโมซิสเป็นการเตรียมชิ้นต้นก่อนนำไปฝรั่งไปแปรรูปต่อไป เช่น การทำแห้งด้วยลมร้อน การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบระเหิด โดยการออสโมซิสฝักผลไม้ก่อนทำให้ลดเวลาการทำแห้งลงได้ จึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีกว่าการไม่ผ่านการออสโมซิส (El-Aouar et al., 2006) สำหรับการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเสริมแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ เหล็ก และ แคลเซียม

ให้กับชั้นฝรั่งได้ โดยการใช้สภาวะสุญญากาศร่วมด้วย ก่อนการแช่ในสภาวะบรรยากาศ สามารถกระตุ้นให้เกิด การถ่ายเทมวลสารได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ เกี่ยวข้องด้านความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ใช้ ทั้ง

ความเข้มข้นของเฟอรัสกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตท รวมถึงการใช้สภาวะสุญญากาศมีอิทธิพลต่อ ลักษณะโครงสร้างของเนื้อฝรั่ง จึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา ถึงผลกระทบด้านการยอมรับของผู้บริโภคด้วย

ตารางที่ 7 ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ของฝรั่งหลังการออสโมซิสเมื่อแปรความเข้มข้นของเฟอรัสกลูโคเนต ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ

เฟอรัสกลูโคเนต (%)	แคลเซียมแลคเตท (%)	การใช้สภาวะสุญญากาศ	ความแน่นเนื้อเฉลี่ย $\pm$ SD (นิวตัน)
1	1	ใช่	232.37 $\pm$ 1.43 ^g
1	1	ไม่ใช่	271.88 $\pm$ 1.09 ^f
1	2	ใช่	302.56 $\pm$ 1.01 ^c
1	2	ไม่ใช่	339.83 $\pm$ 1.05 ^a
2	1	ใช่	267.62 $\pm$ 1.80 ^d
2	1	ไม่ใช่	223.41 $\pm$ 1.56 ^h
2	2	ใช่	282.28 $\pm$ 1.97 ^d
2	2	ไม่ใช่	324.46 $\pm$ 1.54 ^b

หมายเหตุ: ^{a,h} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สรุป

อิทธิพลร่วมระหว่างทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของเฟอรัสกลูโคเนต ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อความแน่นเนื้อของฝรั่งหลังการออสโมซิส อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ด้านความเข้มข้นของเฟอรัสกลูโคเนตและการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อปริมาณหลักของฝรั่งหลังการออสโมซิส และอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ด้านความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและการใช้สภาวะสุญญากาศมีผลต่อปริมาณแคลเซียมของฝรั่งหลังการออสโมซิส ส่วนปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของเฟอรัสกลูโคเนต ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท และการใช้สภาวะสุญญากาศ มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสารทุกค่า ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักรีดลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล ประจำปีงบประมาณ 2557

เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนานนท์. (2549). เคมีอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- เบญจพร รอดอาวุธ. (2550). การพัฒนาคุณภาพฝรั่งอบแห้งปรุงรสของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรเขาดิน อ.แก้งะเลี้ยว จ. นครสวรรค์. รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์. นครสวรรค์: 64 หน้า.
- ประสงค์ เทียนบุญ. (2549). การเสริมวิตามินและแร่ธาตุและ CRN ปีระมิต. วารสารโภชนาบำบัด 17(2): 72-83.
- อักษนี อุทัยพัฒนาชีพ. (2527). โภชนศาสตร์มนุษย์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AOAC. (1990). The Association of official Analysis Chemists. 15th edition. Arlington, Virginia.

- Ashwini, N. B., Sowbhagya, H. B. and Rastogi, N. K. (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering* 105(3): 453-459.
- Barrera, C., Betoret, N., and Fito, P. (2004). Ca^{2+} and Fe^{2+} influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (*var. Granny Smith*). *Journal of Food Engineering* 65(1): 9-14.
- Chafer, M., Gonzalez-Martinez, C., Fernandez, B., Perez, L., and Chiralt, A. (2003). Effect of blanching and vacuum pulse application on osmotic dehydration of pear. *Food Science and Technology International* 9(5): 321-328.
- El-Aouar, A.A., Azoubel, P.M., Barbosa, J.L., Elizabeth, F. & Murr, X. (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering* 75: 267-274.
- Erba, M. L., Forni E. and Colonella A. (1994). Influence of sugar composition and air dehydration level on the chemical-physical characteristics of osmodehydro- frozen fruit. *Food Chemistry* 50: 69-73.
- Fito, P., Andres, A., Pastor, R., and Chiralt, A. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation relaxation phenomena during vacuum treatments solid porous food liquid systems. *Journal of Food Engineering* 27: 229-240.
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Chafer, M., Martinez, J., Andres, A., and Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering* 49: 175-183.
- Gras, M.L., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A., and Fito, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation Interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering* 56: 279-284.
- Kosse, J.S., Yeung, A.C., Gil, A.I., and Miller, D.D. (2001). A rapid method for iron determination in fortified foods. *Food Chemistry* 75: 371-376.
- Lewicki, P.P., Le, H.V., and Pomaranska-Lazuka, W. (2002). Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 54: 141-146.
- 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.
- Torreegiani, D. (1993). Osmotic dehydration in food and vegetable processing. *Journal of food research international* 26: 59-68.
- Torres, J.D., Talens, P., Escriche, I., and Chiralt, A. (2006). Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering* 74: 240-246.

