

การใช้สารละลายน้ำตาลซ้ำในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนอบแห้งสับปะรด Reusing of Sucrose Solution in Osmotic Dehydration of Pineapple

นักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่¹ พรชัย เบ็ญจาม² และอัมรินทร์ ฤกษ์มา²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้สารละลายน้ำตาลซ้ำในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนอบแห้งสับปะรด โดยการนำสับปะรดพันธุ์นางแลที่หั่นเป็นรูปพัดความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 50 °Brix ในอัตราส่วนสับปะรดต่อสารละลายน้ำตาล คือ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก นาน 90 นาที หมุนเวียนใช้สารละลายแช่สับปะรดซ้ำ 10 รอบ โดยการปรับความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้นให้คงที่ทุกรอบ จากนั้นนำชิ้นสับปะรดที่ผ่านการออสโมติกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นานต่อเนื่อง 9 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมร้อน พบว่า สับปะรดที่ผ่านการออสโมติกด้วยสารละลายน้ำตาลซ้ำ 10 รอบแล้วอบแห้งมีผลผลิต ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้นและปริมาณน้ำตาลซูโครสโดยเฉลี่ยมีค่าร้อยละ 18.19 , 0.56 , ร้อยละ 16.27 และร้อยละ 68.36 ตามลำดับ ในขณะที่การเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ที่แสดงโดยค่าความสว่าง(L*) และค่าสีเหลือง (b*) ของสับปะรดอบแห้งมีแนวโน้มลดลงในขณะที่ค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ในทางปฏิบัติสามารถหมุนเวียนสารละลายน้ำตาลในการออสโมติกสับปะรดซ้ำได้ถึง 10 รอบ โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.919-2532) พ.ศ.2532 เรื่อง ผลไม้แห้ง

คำสำคัญ : ออสโมติกดีไฮเดรชัน, น้ำตาลซูโครส, สับปะรด

Abstract

Reusing of sucrose solution in osmotic dehydration process before drying of pineapple was studied. Pineapples (*Ananas comosus* Merr. cv. *Nang Lae*) were cut into fan shape of thickness of 0.5 cm, then soaked in 50 °Brix sucrose solution for 90 minutes. The ratio between fruit and osmotic solution was 1 : 1. The osmotic solution was reused 10 cycles. Each cycle the sucrose concentration was adjusted to be constant. The osmo-dehydrated pineapples were dried continuously at 60°C for 9 hours. The results showed that % yield, water activity (a_w), % moisture content, and % sucrose content of ten-cycle of osmo-dehydrated pineapples were 18.19, 0.56, 16.27, and 68.36 respectively. The browning index showed by L* and b* values decreased while a* increased. The colour measurement was related to sensory evaluation. In practical, the sucrose solution could be reuse within 10 cycles, and the dried pineapple was conformed to the Thai Industrial Standard of dried fruits (TIS. 919-1979).

Key words : Osmotic Dehydration, Sucrose solution, Pineapple

¹ หัวหน้าโครงการวิจัย สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

² นักวิจัยร่วม สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

คำนำ

ออสโมติกดีไฮเดรชัน โดยทั่วไปเป็นกระบวนการขจัดน้ำบางส่วนออกจากเซลล์พืชโดยการจุ่มชิ้นผักหรือผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงหรือที่เรียกว่าสารละลายออสโมติก แรงขับเคลื่อนการแพร่ของน้ำจากเนื้อเยื่อพืชไปสู่สารละลายออสโมติกเกิดจากความดันออสโมติกที่สูงกว่าของสารละลายนั้นและในขณะเดียวกันเกิดการแพร่ในทิศทางตรงกันข้ามโดยออตโนมิติของตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกเข้าไปในเนื้อเยื่อ ทั้งนี้อัตราการแพร่ของน้ำออกจากเนื้อเยื่อขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก ขนาดและรูปร่างของชิ้นผักและผลไม้ อัตราส่วนอาหารกับสารละลายออสโมติกและระดับการกวนสารละลาย (Rastogi and Raghavarao, 2004)

แม้ว่าการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยสารละลายน้ำตาลเป็นที่นิยมใช้แต่เมื่อพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์กลับพบว่าไม่คุ้มค่าในทางปฏิบัติหากไม่มีการหมุนเวียนสารละลายออสโมติกมาใช้ซ้ำ แม้ว่าการหมุนเวียนจะมีปริมาณน้ำในสารละลายเพิ่มมากขึ้น แต่สารที่มีอยู่ตามธรรมชาติในผลไม้ก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เช่น วิตามินและแร่ธาตุ ดังนั้นการหมุนเวียนสารละลายน้ำตาลจึงดูเหมือนเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ (Garcia-Martinez *et al.* 2002) Marouze *et al.* (2001) ได้เสนอวิธีการผลิตผลไม้แห้งโดยใช้การออสโมติกในถึงหลายๆ ที่มีสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นแตกต่างกัน จากนั้นมีการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายดังกล่าวตามลำดับ มีการรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลโดยการไหลเวียนสารละลายซ้ำๆ ระหว่างถังในทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของชิ้นผลไม้

Valdez-Fragoso *et al.* (2007) ได้ศึกษาการหมุนเวียนสารละลายน้ำตาลซูโครสในการออสโมติกดีไฮเดรชันขึ้นแอปเปิลทรงลูกบาศก์ โดยรักษาความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกไว้ที่ 59.5 ± 1.5 °Brix อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และมีการทำให้สารละลายเข้มข้นใหม่โดยการระเหยน้ำออก และกรองเอาอนุภาคที่แขวนลอยออกไป การออสโมติกดีไฮเดรชันมีการหมุนเวียนสารละลายน้ำตาล 20 รอบ โดยคงอัตราส่วนสารละลายน้ำตาลและชิ้นแอปเปิลไว้ที่ 5 ต่อ 1 (มวล/มวล) พบว่าสีของแอปเปิลมีความคงที่ใน 10 รอบ ปริมาณจุลินทรีย์ในสารละลายน้ำตาลมีค่า $2,590 \pm 330$ CFU ต่อมิลลิลิตรเมื่อมีการใช้สารละลายครบ 20 ครั้ง ค่าปริมาณการสูญเสียน้ำ (water loss) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain) ของชิ้นแอปเปิลที่มีการแช่ในสารละลายที่ใช้ซ้ำมีค่าใกล้เคียงกับกระบวนการออสโมติกที่ไม่มีการใช้สารละลายซ้ำ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์สับประรดอบแห้งเมื่อผ่านการใช้สารละลายน้ำตาลในการออสโมติกดีไฮเดรชันขึ้นสับประรดซ้ำ 10 รอบ

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

สับประรดพันธุ์นางแล (*Ananas comosus* Merr. cv. *Nang Lae*) ลักษณะปรากฏ พิจารณาตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง สับประรด (มกอช. 4-2546) คือ ผลมีความสด ผลมีजूที่ไม่มีใบตายหรือดอกแห้ง ไม่มีรอยช้ำ ไม่มีลักษณะของแฉกเผา ผลและแกน ไม่เน่าเสียที่จะทำให้อายุไม่เหมาะสมกับการบริโภค สะอาด และปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ ส่วนข้อกำหนดทางด้านกายภาพ เคมีและสีคณะผู้วิจัยได้กำหนดเป็นช่วงข้อมูลเพื่อให้มีความสม่ำเสมอของวัตถุดิบ ดังต่อไปนี้

ข้อกำหนดด้านสีเปลือก พิจารณาจาก ค่า Peel Colour Index (PCI) ตามวิธีการคัดเลือกสับประรดสายพันธุ์ Cayenne (สับประรดนางแลเป็นสายพันธุ์ย่อยของ Cayenne) ของ Lizana *et al.* (1990) โดยกำหนดไว้ 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 สีเขียว ระดับที่ 2 สีเขียว-เหลืองส้ม และระดับที่ 3 สีเหลืองส้ม เลือกระดับที่ 2 มาใช้ในการทดลอง

ข้อกำหนดวัตถุบีดทางด้านกายภาพ ผลสับปะรดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลประมาณ 12 เซนติเมตร น้ำหนัก 1,000-1,200 กรัม ทางด้านเคมี มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid) 12-17 °Brix ค่า pH 3.35-3.45 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.20-0.25 ปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 3-5 และทางด้านวัตถุบีดด้านสีสับปะรดก่อนแช่น้ำเชื่อม ค่า L* อยู่ในช่วง 60-65, ค่า a* อยู่ในช่วง (-3.0) - (-4.0) และ ค่า b* อยู่ในช่วง 25 - 30

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุบีด

การเตรียมสับปะรดโดยปอกเปลือกแล้วหั่นให้มีลักษณะเป็นรูปพืด ความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวจากด้านที่เป็นส่วนโค้งน้อยที่สุดประมาณ 1.5 เซนติเมตร ส่วนความยาวด้านที่โค้งมากที่สุดประมาณ 2.5 เซนติเมตร (รัศมี ประมาณ 2 เซนติเมตร) แล้วนำสับปะรดที่ตัดแต่งแล้วน้ำหนัก 2 กิโลกรัมไปนึ่งด้วยไอน้ำร้อนนาน 5 นาทีเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและเพิ่มประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำตาล การเตรียมสารละลายน้ำตาลโดยต้ม น้ำ 5 ลิตร (อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส) เติมน้ำตาลทรายลงไปคนให้ละลายแล้วปรับความหวานให้ได้ 50 °Brix จากนั้นรอให้สารละลายน้ำตาลมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียสแล้วปรับความเข้มข้นด้วยน้ำตาลทรายอีกครั้ง

2. การศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันและการอบแห้งสับปะรด

นำสับปะรดที่หั่นเป็นรูปพืดแช่ลงในสารละลายน้ำตาลในอัตราส่วนน้ำหนักสับปะรดต่อน้ำหนักสารละลายน้ำตาล คือ 1 ต่อ 1 เมื่อครบเวลา 15 นาที แยกชิ้นสับปะรดออกจากสารละลายน้ำตาล ทิ้งไว้ให้แห้งบนตะแกรง คั้นน้ำสับปะรดออกมาวัดความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid: TSS) ด้วย hand refractometer (Atago, Japan) จับเวลาจนครบ 150 นาที ทดลอง 3 ซ้ำ รายงานผลปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แล้วเลือกเวลาที่กระบวนการออสโมติกเข้าสู่ภาวะสมดุลแรกสุดที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มคงที่โดยพิจารณาจากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ณ เวลาใดๆ ไม่แตกต่างจากเวลาหลังจากนั้น 15 นาที เกินร้อยละ 5

นำสับปะรดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ณ สภาวะสมดุล ไปเกลี่ยบนตะแกรงแล้วอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยชั่งน้ำหนักสับปะรดก่อนอบแห้งและทุกๆ 1 ชั่วโมงนำสับปะรดมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง 10 ชั่วโมง ทำ 3 ซ้ำ รายงานผลความชื้น (ฐานเปียก) ของสับปะรดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เลือกเวลาที่กระบวนการอบแห้งเข้าสู่ภาวะสมดุลแรกสุดที่ปริมาณความชื้นเริ่มคงที่โดยพิจารณาจากความชื้น ณ เวลาใดๆ ไม่แตกต่างจากเวลาหลังจากนั้น 1 ชั่วโมง เกินร้อยละ 5 และถือว่าเป็นความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์

3. การหมวนเวียนสารละลายออสโมติกในการผลิตสับปะรดอบแห้ง

นำสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 50 °Brix เติมนลงในโถแก้ว ใส่สับปะรดลงในถุงตาข่ายพลาสติก (อัตราส่วนน้ำหนักสารละลายน้ำตาลต่อน้ำหนักสับปะรดคือ 1 ต่อ 1) กดให้สับปะรดจมลงในสารละลายน้ำตาลทั้งหมด รอจนกระทั่งการออสโมติกดีไฮเดรชันเข้าสู่สมดุลโดยการพิจารณาสภาวะสมดุลเช่นเดียวกับข้อ 2 ดังกล่าวมาแล้ว ก่อนจะนำสับปะรดออกจากสารละลายน้ำตาล ทิ้งสับปะรดให้แห้ง นำมาเรียงบนตะแกรงให้เป็นระเบียบไม่ให้ชิ้นสับปะรดซ้อนทับกันก่อนนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนความชื้นเข้าสู่สมดุล บรรจุสับปะรดที่อบแห้งแล้วในถุงโพลีโพรพิลีนปิดผนึก

การหมวนเวียนสารละลายน้ำตาลที่ผ่านการออสโมติกแล้วให้กรองสารละลายเพื่อขจัดของแข็งที่แขวนลอยออกมา วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดพร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทุกครั้งก่อนใช้งาน จากนั้นปรับความเข้มข้นให้ได้คงที่ที่ 50 °Brix ใหม่โดยเติมน้ำตาลทรายลงไป จากนั้นนำสารละลายดังกล่าวไปใช้ออสโมติกดีไฮเดรชันสับปะรดชุดใหม่ ทำซ้ำกับสารละลายน้ำตาลชุดเดิมและปรับความเข้มข้นให้คงที่ทุกครั้งจนครบ 10 รอบอย่างต่อเนื่อง แล้วนำสับปะรดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันทุกรอบไปอบแห้ง

และบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนก่อนนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพของสับประรดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยการหมุนเวียนสารละลายน้ำตาลซ้ำทั้ง 10 รอบ โดยเปรียบเทียบค่าต่อไปนี้

- 3.1 ปริมาณผลผลิต คำนวณร้อยละสับประรดอบแห้งที่ได้ (% yield)
- 3.2 ความชื้นและปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก ตามวิธีของ AOAC (2000)
- 3.3 ค่า water activity (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า water activity (Testo, Italy)
- 3.4 ปริมาณน้ำตาลซูโครสตามวิธีของ James (1995)
- 3.5 ค่าสี วัดโดยเครื่องวัดสี (MINOLTA 300, Japan) แสดงในรูปของค่า L^* , a^* , b^* , Hue angle และ Chroma value

การเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต ความชื้น ค่า water activity ปริมาณน้ำตาลซูโครสและค่าสีวิเคราะห์โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ

4. การเปรียบเทียบทางด้านประสาทสัมผัส

ใช้วิธีการให้คะแนนระดับความเข้มข้นสี 5 ระดับ โดยการให้คะแนนแบบ Scoring test จากผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยก่อนการทดสอบนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์สับประรดอบแห้งที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนอบแห้งโดยใช้สารละลายน้ำตาลรอบที่ 1 (ระดับที่ 1 -สีเหลืองอ่อนที่สุด) และ ที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนอบแห้งโดยใช้สารละลายน้ำตาลรอบที่ 10 (ระดับที่ 5 -สีเหลืองเข้มมากที่สุด) มาให้ผู้ทดสอบพิจารณาความเป็นตัวอย่างที่ใช้ในการเทียบสีก่อนให้คะแนนโดยอิสระ

ใช้วิธีการตัดสินระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ผลไม้แห้ง (มอก. 919-2532) โดยพิจารณา 3 ลักษณะ คือ 1. ลักษณะทั่วไป (ลักษณะที่ดีของเนื้อผลไม้ น้ำตาลไม่จับตัวเป็นก้อน ลักษณะภายนอกไม่เปียกชื้น เนื้อไม่แข็งกระด้าง) 2. กลิ่นรส (มีกลิ่นรสตามลักษณะเฉพาะของผลไม้ที่ใช้ทำ ปราศจากกลิ่นอับ กลิ่นรสที่เกิดจากการหมัก) และ 3. สี (มีสีตามธรรมชาติของผลไม้ที่ใช้ในการทำ) การให้คะแนนคุณภาพเป็นแบบ Scoring test จำนวน 5 ระดับ โดยที่ 1 หมายถึง ดีมาก 4 หมายถึง ดี 3 หมายถึง ดีพอใช้ 2 หมายถึง พอใช้ และ 1 หมายถึง ไม่ดี โดยใช้ผู้ทดสอบกลุ่มเดียวกับวิธีการให้คะแนนระดับความเข้มข้นสี

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสทำโดยเสนอตัวอย่างทั้ง 10 ตัวอย่างแบบสุ่ม ทำ 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

5. การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของสับประรดอบแห้งวิเคราะห์โดยอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.919-2532) พ.ศ.2532 เรื่อง ผลไม้แห้ง ได้แก่ ราและยีสต์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp. และ *Clostridium perfringens* ตามวิธีของ AOAC (1984) ทดลอง 2 ซ้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันและการอบแห้งสับประรด

การแช่สับประรดที่หั่นเป็นรูปพัดลงในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 50 °brix ในอัตราส่วนน้ำหนักสับประรดต่อน้ำหนักสารละลายน้ำตาล คือ 1 ต่อ 1 เป็นเวลา 150 นาที สามารถแสดงผลการทดลองดัง Table 1

Table 1 Total soluble solid (TSS) changes of pineapple pieces during osmotic dehydration with 50 °Brix sucrose solution

Time (minutes)	TSS (°Brix) of pineapple pieces
0	12.75 a ± 0.10
15	16.68 b ± 0.21
30	20.76 c ± 0.45
45	28.12 d ± 0.32
60	34.71 e ± 0.29
75	36.88 f ± 0.37
90	34.12 g ± 0.32
120	34.65 g ± 0.16
150	34.28 g ± 0.32

- Values are the mean ± standard deviation (n=3)

จาก Table 1 ชิ้นสับประรดที่ผ่านการเตรียมมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเริ่มต้น 12.75 ± 0.10 °brix เมื่อนำไปผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันสามารถกำจัดน้ำออกไปและมีการถ่ายน้ำตาลแพร่เข้าสู่ชิ้นสับประรดจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 60 นาทีแรก หลังจากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเริ่มคงที่ตั้งแต่เวลา 90 นาทีเป็นต้นไป ทั้งนี้พิจารณาจากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ที่เวลา 90 นาที ไม่แตกต่างจากเวลา 105 นาที ซึ่งคำนวณได้ร้อยละ 4.42 และไม่เกินร้อยละ 5 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การออสโมติกดีไฮเดรชันชิ้นสับประรดที่สภาวะนี้เข้าสู่สมดุลตั้งแต่เวลา 90 นาที โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยสุดท้าย คือ 34.12 ± 0.02 °brix และสารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นลดลงเหลือ 30.63 ± 0.41 °brix

การอบแห้งสับประรดที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างและออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 50 °brix เป็นเวลา 90 นาที โดยการอบแห้งสับประรดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสด้วยตู้อบลมร้อนอย่างต่อเนื่อง 10 ชั่วโมง สามารถแสดงผลการทดลองดัง Table 2

ค่าความชื้นของชิ้นสับประรดสดมีค่าร้อยละ 85.62 ± 0.32 เมื่อนำไปผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันสามารถกำจัดน้ำออกไปและมีความชื้นเริ่มต้นก่อนอบแห้งของชิ้นสับประรดลดลงเหลือร้อยละ 71.12 ± 0.56 จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นของชิ้นสับประรดลดลงตามเวลาอบแห้งและค่าความชื้นเริ่มคงที่ตั้งแต่เวลา 9 ชั่วโมง โดยพิจารณาจากความชื้น ณ เวลา 9 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากเวลา 10 ชั่วโมง ซึ่งคำนวณได้ร้อยละ 0.99 และไม่เกินร้อยละ 5 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การอบแห้งชิ้นสับประรดที่สภาวะนี้เข้าสู่สมดุลตั้งแต่เวลา 9 ชั่วโมง โดยมีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 14.19 ± 0.32

2. การหมუნเวียนสารละลายออสโมติกในการผลิตสับประรดอบแห้ง

การนำสับประรดที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันด้วยการหมუნเวียนสารละลายน้ำตาลซ้ำ มาเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้วยค่าร้อยละผลผลิต ปริมาณน้ำอิสระ ร้อยละความชื้น และร้อยละปริมาณน้ำตาลซูโครสได้ผลดัง Table 3

Table 2 Moisture content changes of osmo-dehydrated pineapples during hot air drying at 60 °C

Time (hours)	Moisture content (% wet basis)
0	71.12 a ± 0.56
1	65.88 b ± 0.34
2	57.63 c ± 0.10
3	50.41 d ± 0.49
4	43.22 e ± 0.23
5	35.05 f ± 0.26
6	28.44 g ± 0.77
7	24.63 h ± 0.69
8	18.62 i ± 0.46
9	14.19 j ± 0.32
10	14.05 j ± 0.61

- Values are the mean ± standard deviation (n=3)

Table 3 Yield, water activity, moisture content, and sucrose content of osmo-dehydrated pineapples from each time of soaking in reused sucrose solution for 10 times

Cycles	Yield (%)	Water activity (aw)	Moisture content (% wet basis)	Sucrose content (%)
	0	21.25 a ± 0.14	0.56 a ± 0.02	15.33 a ± 0.12
1	20.24 b ± 0.89	0.57 a ± 0.01	15.48 a ± 0.89	70.70 b ± 0.13
2	19.35 b ± 0.32	0.56 a ± 0.00	14.16 a ± 0.32	71.98 a ± 0.15
3	18.59 c ± 0.40	0.57 a ± 0.00	15.70 a ± 0.53	65.58 d ± 0.17
4	21.34 a ± 0.01	0.58 a ± 0.01	15.52 a ± 0.02	68.28 c ± 0.09
5	19.87 b ± 0.63	0.55 b ± 0.00	14.21 b ± 0.61	67.68 c ± 0.00
6	18.76 c ± 0.79	0.54 b ± 0.01	15.24 a ± 0.80	68.15 c ± 0.15
7	20.11 b ± 0.35	0.53 b ± 0.01	14.36 b ± 0.35	65.49 d ± 0.00
8	18.46 c ± 0.28	0.54 b ± 0.02	15.78 a ± 0.28	67.51 c ± 0.00
9	20.02 b ± 0.84	0.54 b ± 0.02	14.16 b ± 0.90	69.68 c ± 0.00
10	18.19 c ± 0.39	0.56 a ± 0.02	15.27 a ± 0.39	68.36 c ± 0.00

- Values are the mean ± standard deviation (n=3)

- Mean values followed by different script in the same column differs significantly by Duncan's New Multiple Range Test ($p \leq 0.05$)

จาก Table 3 พบว่าร้อยละผลผลิต ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้นและปริมาณน้ำตาลซูโครสในแต่ละรอบการนำสารละลายน้ำตาลมาใช้ใหม่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.75 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผลไม้แห้ง (มผช.136/2546) นอกจากนี้มีปริมาณความชื้นได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ผลไม้แห้ง (มผช919-2532) คือไม่เกินร้อยละ 18 และมีปริมาณน้ำตาลซูโครสไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของน้ำหนัก

ค่าสีของสับปะรดออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนอบแห้งแสดงด้วยค่า L^* , a^* , b^* , Hue angle และ Chroma value ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Changes in colour of osmo-dehydrated pineapple which was soaked in 10 cycles of reused sucrose solution and dried at 60 °C

Cycles	L^*	a^*	b^*	Hue angle	Chroma value
0	60.90 a ± 0.33	1.06 a ± 0.49	27.07 a ± 0.12	88.72 a ± 0.27	29.23 a ± 0.12
1	61.40 a ± 0.33	1.07 a ± 0.19	28.27 a ± 0.34	87.42 a ± 0.67	29.35 a ± 0.52
2	51.56 b ± 0.48	1.06 a ± 0.15	27.63 a ± 0.44	86.63 a ± 0.83	30.53 a ± 0.42
3	48.80 c ± 0.81	1.09 a ± 0.36	24.73 b ± 0.13	83.05 b ± 0.56	25.12 b ± 0.26
4	47.67 d ± 0.25	1.48 b ± 0.12	22.78 c ± 0.05	84.81 b ± 0.83	22.33 c ± 0.49
5	47.15 d ± 0.96	1.53 b ± 0.63	19.83 d ± 0.60	83.95 c ± 0.26	21.96 c ± 0.23
6	47.61 d ± 0.36	3.00 c ± 0.27	19.67 d ± 0.97	83.40 d ± 0.19	21.96 c ± 0.32
7	47.86 d ± 0.18	3.71 d ± 0.92	19.75 d ± 0.45	81.54 e ± 0.78	20.31 c ± 0.22
8	47.52 d ± 0.62	4.42 d ± 0.06	19.47 d ± 0.44	80.57 e ± 0.18	20.43 c ± 0.26
9	45.65 e ± 0.77	4.44 d ± 0.33	18.87 e ± 0.45	79.23 f ± 0.31	20.34 c ± 0.87
10	45.14 e ± 0.12	4.56 d ± 0.23	19.42 e ± 0.27	78.86 f ± 0.20	21.75 c ± 0.06

- Values are the mean ± standard deviation (n=3)

- Mean values followed by different script in the same column differs significantly by Duncan's New Multiple Range Test ($p < 0.05$)

จาก Table 4 ค่า L^* เป็นค่าความสว่างของสับปะรดอบแห้ง ค่า b^* เป็นค่าที่แสดงสีเหลือง ค่าเฉดสี (Hue) และค่า Chroma เป็นค่าที่แสดงความสดใสของเนื้อสี มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า a^* แสดงความเป็นสีแดงของสับปะรดกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนการใช้สารละลายออสโมติกซ้ำมากขึ้น การศึกษาของ Gracia-Martinez *et al.* (2002) ที่พบว่า ค่า L^* , b^* , Hue angle และ Chroma value ของชิ้นกีวีมีค่าลดลงภายหลังการออสโมติก ในขณะที่ค่า a^* เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากปัจจัยหลักคือมีการถ่ายเทรงควัตถุในผลกีวี ได้แก่ แซนโทฟิล คลอโรฟิลล์ และเบต้าแคโรทีนจากชิ้นกีวีเข้าสู่สารละลายน้ำตาล จากเหตุผล Gracia-Martinez *et al.* (2002) การแพร่ของรงควัตถุออกจากชิ้นผลไม้เป็นสาเหตุที่ทำให้สารละลายน้ำตาลที่ใช้แช่ผลไม้มีสีเข้มขึ้น กรณีของการออสโมติกชิ้นสับปะรดก็เช่นเดียวกัน รงควัตถุในสับปะรด เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งมีสีเหลืองได้แพร่ออกมากับน้ำในระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชันและผสมอยู่กับสารละลายน้ำตาล เมื่อนำสารละลายดังกล่าวมาใช้หมุนเวียนซ้ำในรอบถัดไป ปริมาณฟลาโวนอยด์จึงเพิ่มมากขึ้นสารละลายออสโมติกจึงมีสีคล้ำ ส่วนชิ้นสับปะรดที่ออสโมติกแล้วนำไปอบแห้งมีความเป็นสีเหลืองลดลง (ค่า b^* ลดลง) เพราะสูญเสียรงควัตถุในระหว่างการออสโมซิส รวมทั้งอัตราส่วนชิ้นสับปะรดต่อสารละลายน้ำตาลที่ต่ำ (อัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก) มักก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมติกได้แต่ถือว่าเป็นปัจจัยรอง นอกจากนี้ในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนสับปะรดซึ่งมีน้ำตาล รงควัตถุ กรดอะมิโน อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง

ทางด้านเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยา Maillard การออกซิเดชันของรงควัตถุสีเหลืองที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น (Salvi and Rajput, 1995)

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัสของสับประดออสโมติกดีไฮเดรชันอบแห้ง

ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสระดับความเข้มทางด้านสีของสับประดออสโมติกดีไฮเดรชันอบแห้ง ใช้วิธีการให้คะแนนระดับความเข้มด้านสี 5 ระดับ ได้ผลการทดลองดัง Table 5

Table 5 Colour score from sensory evaluation of osmo-dehydrated pineapple which was soaked in 10 cycles of reused sucrose solution and dried at 60 °C

Cycles	Colour scores (points)
0	1.57 a ± 0.47
1	1.75 a ± 0.57
2	1.69 a ± 0.59
3	3.28 b ± 0.58
4	3.41 b ± 0.53
5	3.53 b ± 0.67
6	3.94 b ± 0.25
7	4.00 b ± 0.10
8	4.21 c ± 0.33
9	4.56 c ± 0.28
10	4.94 d ± 0.25

- Values are the mean ± standard deviation (n=30)

- Mean values followed by different script in the same column differs significantly by Duncan's New Multiple Range Test ($p \leq 0.05$)

เมื่อใช้วิธีการตัดสินระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ผลไม้แห้ง (มอก. 919-2532) โดยพิจารณา 3 ลักษณะ คือ ลักษณะทั่วไป กลิ่นรส และสี ให้ผลดัง Table 6 การเปรียบเทียบระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ผลไม้แห้ง พบว่า ในด้านลักษณะปรากฏ ผู้ทดสอบให้คะแนนในช่วง 4-5 เมื่อมีการใช้สารละลายน้ำตาลภายใน 7 ชั่วโมง โดยมีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระดับดี แต่เมื่อมีการใช้สารละลายซ้ำมากกว่า 7 ชั่วโมงทำให้ระดับคุณภาพลดลงเหลือดีพอใช้ เพราะผู้ทดสอบให้ข้อเสนอแนะว่าผลิตภัณฑ์มีความไม่สม่ำเสมอของสีโดยเฉพาะบริเวณตรงกลางชิ้นสับประดอมีสีคล้ำมากกว่าตรงขอบนอก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลจากการไฮโดรไลซิสน้ำตาลจากเอนไซม์ทั้งในขณะที่มีการให้ความร้อน (อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส) เพื่อหมุนเวียนใช้สารละลายน้ำตาลหลายครั้งและจากการอบแห้งที่มักเกิดปฏิกิริยา Maillard เมื่อปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.5-0.6 (Valdez-Fragoso *et al.*, 2007 and Salvi and Rajput, 1995)

ในด้านกลิ่นรส การใช้สารละลายออสโมติกซ้ำ 3 รอบทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนใกล้เคียงกับ 5 (คุณภาพดีมาก) แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรอบการใช้ระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์กลับลดลง เพราะสารละลายน้ำตาลที่มีการใช้หลายรอบทำให้เกิดกลิ่นอับของวัตถุดิบสับประดอที่ผ่านการออสโมติกครั้งที่ผ่านมาและในรอบท้ายๆของการหมุนเวียนมีกลิ่นหมักจากการเจริญของยีสต์ด้วย

Table 6 Product quality score of osmo-dehydrated pineapple which was soaked in 10 cycles of reused sucrose solution and dried at 60 °C

Cycles	Appearance scores	Flavour scores	Colour scores
0	4.78 a ± 0.34	4.71 a ± 0.20	4.92 a ± 0.02
1	4.71 a ± 0.74	4.75 a ± 0.14	4.90 a ± 0.10
2	4.89 a ± 0.02	4.69 a ± 0.12	4.96 a ± 0.56
3	4.78 a ± 0.55	4.58 a ± 0.08	4.86 a ± 0.42
4	4.61 a ± 0.60	4.41 b ± 0.32	4.43 b ± 0.13
5	4.50 a ± 0.76	4.53 b ± 0.19	4.38 b ± 0.02
6	4.34 a ± 0.11	4.44 b ± 0.88	4.02 c ± 0.09
7	4.00 a ± 0.18	3.00 b ± 0.40	3.40 c ± 0.58
8	3.21 b ± 0.05	3.21 c ± 0.85	3.21 c ± 0.38
9	3.26 b ± 0.98	2.56 c ± 0.23	3.16 c ± 0.76
10	3.24 b ± 0.73	2.44 d ± 0.24	2.94 c ± 0.92

- Values are the mean ± standard deviation (n=30)

- Mean values followed by different script in the same column differs significantly

by Duncan's New Multiple Range Test ($p \leq 0.05$)

ในด้านสี ระดับคุณภาพด้านสีมีแนวโน้มลดลงตามจำนวนรอบของสารละลายออสโมติกที่หมუნเวียนมากขึ้น โดยการใช้สารละลายใน 3 รอบแรกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งมีคุณภาพในระดับดีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มของสีผลิตภัณฑ์ พบว่ามีความสอดคล้องกันโดยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อระดับความเข้มของสีจากการวัดด้วยเครื่องวัดสีเพิ่มขึ้นจาก Table 4 (ค่า a^* เพิ่มขึ้นมากขึ้น) และการทดสอบประสาทสัมผัสจาก Table 5 (ค่าระดับความเข้มสีเพิ่มขึ้น) ทั้งนี้คุณภาพด้านสีมีระดับต่ำสุดเมื่อมีการหมუნเวียนสารละลายน้ำตาลซ้ำจนถึงรอบที่ 10

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของสับปะรดอบแห้ง ได้แก่ ราและยีสต์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp. และ *Clostridium perfringens* พบว่าสับปะรดที่ออสโมติกโดยใช้สารละลายน้ำตาลซ้ำทั้ง 10 รอบ มีคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ผลไม้แห้ง (มผช.136/2546) คือ ราและยีสต์ไม่เกิน 10^2 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (พบในช่วง $3.1 \times 10^1 - 6.0 \times 10^1$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (พบในช่วง $4.9 \times 10^3 - 6.4 \times 10^3$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม) และ *Escherichia coli* โดยวิธีเอ็ม พี เอ็น น้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม นอกจากนี้ยังตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.919-2532) พ.ศ.2532 เรื่อง ผลไม้แห้ง โดยไม่พบ *Staphylococcus aureus* และ *Clostridium perfringens* ในตัวอย่าง 0.1 กรัม และไม่พบ *Salmonella* spp. ในตัวอย่าง 25 กรัม ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมติกด้วยสารละลายน้ำตาลซ้ำ 10 รอบมีคุณภาพและความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการแปรรูปสับปะรดที่ผ่านการออสโมติกก่อนอบแห้ง โดยการแช่ขึ้นสับปะรดที่หั่นเป็นรูปตัดความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตรที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำร้อน นาน 5 นาทีลงในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 50 °Brix อัตราส่วนสับปะรดต่อสารละลายน้ำตาล คือ 1 ต่อ 1 จากการทดลองหมวนเวียนใช้สารละลายน้ำตาลในการออสโมติกดีไฮเดรชัน 10 รอบ อย่างต่อเนื่องโดยมีการปรับความเข้มข้นให้คงที่ที่ถูกรอบโดยใช้สภาวะในการทดลองเดียวกันที่กล่าวมา เมื่อนำสับปะรดอบแห้งไปวิเคราะห์คุณภาพ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารละลายน้ำตาลซ้ำถูกรอบ มีค่าปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น ปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณจุลินทรีย์ได้คุณภาพและความปลอดภัยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนค่าที่สามารถใช้เป็นตัวชี้บ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้การหมวนเวียนสารละลายออสโมติกในจำนวนรอบที่มากขึ้นทำให้คุณภาพด้านลักษณะทั่วไปและกลิ่นรสมีคุณภาพลดลงในทางปฏิบัติ ด้วยสภาวะการทดลองนี้สามารถใช้สารละลายน้ำตาลในการออสโมติกดีไฮเดรชันได้ถึง 10 รอบ โดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังจัดอยู่ในระดับพอใช้ แต่ถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรสและสีในระดับดีมากควรหมวนเวียนสารละลายออสโมติกไม่เกิน 3 รอบ

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2546. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง สับปะรด (มกอช. 4-2546). ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 120 ตอนพิเศษ 145 ง วันที่ 19 ธันวาคม 2546.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลไม้แห้ง. มผช.136/2546. (2546). 1-5.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลไม้แห้ง. มอก.919-2532. (2532). ราชกิจจานุเบกษา 117 (ตอนที่ 12) . ประกาศ วันที่ 25 ธันวาคม 2532. 1-13.
- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 1984. Official Method of Analysis. 14th ed. George Banton Co., Ltd., Washington, D.C.
- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 2000. Official Methods of analysis. 17th ed. Maryland. U.S.A.
- Falade, K. O., Igbeka, J. C. and Ayanwuyi, F. A. 2007. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. Journal of Food Engineering. 80 (3) : 979-985.
- Gracia-Martinez, E., Martinez-Monzo, J., Camacho, M. M. and Martinez-Navarrete, N. 2002. Characterization of Reused Osmotic Solution as Ingredient in New Product Formulation. Food Research International. 35:3.7-313.
- James, C. S. 1995. Analytical Chemistry of Foods. Chapman & Hall, London.
- Marouze, C., Giroux, F., Collignan, A. and Rivier, M. 2001. Equipment Design for Osmotic Treatments. Journal of Food Engineering. 49 : 207-221.
- Rastogi, N. K. and Raghavarao, K.S.M.S. 2004. Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Pineapple : Considering Fickian Diffusion in Cubical Configuration. Lebensm.-Wiss. U.-Technol.37 : 43-47.
- Salvi, M. J. and Rajput, J. C. 1995. Pineapple. In Handbook of Fruit Science and technology, Production, Composition, Storage, and Processing. Salunkhe, D. K. and Kadam, S. S. (Eds.) , Marcel Dekker, New York, 171-182.
- Valdez-Fragoso, A., Mujica-Paz, H. Giroux, F. and Welti-Chanes, J. 2007. Reuse of Sucrose Syrup in Pilot-Scale Osmotic Dehydration of Apple Cubes. Journal of Food Process Engineering. 25(2) : 125-139.
- Valdez-Fragoso, A., Welti-Chances, J. and Giroux, F. 1998. Properties of a Sucrose Solution Reused in Osmotic Dehydration of Apples. Drying Technology, 16 (7) 1429-1445.