http://journal.rmutp.ac.th/

ผลของการใช้ตัวถูกละลายทางเลือกและอัลตราซาวด์ต่อการถ่ายโอนมวลสารของสับปะรดพันธุ์ทองระยองในกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล* ศนิ จิระสถิตย์ และ อพัชชา สวัสดิ์ผล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

รับบทความ 30 ตุลาคม 2564 แก้ไขบทความ 1 พฤษภาคม 2565 ตอบรับบทความ 28 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

การอินฟิวชันแบบแห้งทำได้โดยการเติมน้ำตาลลงในชิ้นผลไม้โดยตรงแล้วปล่อยให้เกิดการสัมผัสกัน มีประสิทธิภาพในการดึงน้ำออกจากผลไม้ได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ตัวถูกละลายทางเลือกชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส มอลโทเดกซ์ทริน และซอร์บิทอล แทนการใช้น้ำตาลซูโครส ผลการติดตามการถ่ายโอนมวลสารของสับปะรดทองระยองระหว่างกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง พบว่า ชนิดของตัวถูกละลายมีต่อค่าการถ่ายโอนมวลสาร โดยการใช้ซอร์บิทอลทำให้มีค่าการถ่ายโอนมวลสารสูงที่สุด ($p<0.05$) จากการศึกษาผลของสภาวะการใช้อัลตราซาวด์เพื่อกระตุ้นการถ่ายโอนมวลสาร พบว่า การเตรียมขั้นต้นโดยใช้อัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ร่วมด้วยเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) เท่ากับ ร้อยละ 37.08 6.58 และ 30.49 ตามลำดับ สับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มากกว่าสับปะรดกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง ($p<0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

คำสำคัญ : อินฟิวชันแบบแห้ง; ตัวถูกละลายทางเลือก; สับปะรดกึ่งแห้ง

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 5840 6347, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: wich@go.buu.ac.th*

http://journal.rmutp.ac.th/

Effect of Alternative Solutes and Ultrasound on Mass Transfer of Thong Rayong Pineapple in Dry Infusion Process

Wichamanee Yuenyongputtakal* Sani Jirasatid and Apatcha Sawatphon

Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University
169 Longhaad Bangsaen Road, Saensuk, Mueang, ChonBuri 20131

Received 30 October 2021; Revised 1 May 2022; Accepted 28 June 2022

Abstract

Dry infusion was carried out by adding sugar directly to the fruit pieces and allowing them to contact together. It was effective for removing of water from the fruit. The purpose of this research was to study the effect of using different types of alternative solutes, namely oligofructose, maltodextrin and sorbitol instead of sucrose. Mass transfer of Thong Rayong pineapple during dry infusion process showed that the solute types affect the mass transfer parameters. The use of sorbitol had the highest mass transfer value ($p<0.05$). Effect of ultrasound assisted mass transfer was studied. The result showed that ultrasound applied at 50±2 ℃ for 15 min was the optimum condition which enhanced Water Loss (WL), Solid Gain (SG) and Weight Reduction (WR) values of 37.08%, 6.58%, and 30.49%, respectively. Sensory scores in terms of appearance, color, texture, and overall preference of semi-dried pineapple from infusion process were more than semi-dried pineapple without dry infusion ($p<0.05$), with a moderate overall liking score.

Keywords : Dry Infusion; Alternative Solute; Semi-dried Pineapple

** Corresponding Author. Tel.: +668 5840 6347, E-mail Address: wich@go.buu.ac.th*

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง เป็นอาหารที่สามารถบริโภคได้โดยไม่ต้องนำไปคืนตัว มีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำหรือฆ่าเชื้อด้วยความร้อน โดยผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กึ่งแห้ง ควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90 ในการแปรรูปผลไม้กึ่งแห้งมักเตรียมขั้นต้นด้วยการดึงน้ำออกบางส่วนก่อนการอบแห้ง วิธีที่นิยมใช้คือการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ซึ่งทำได้โดยแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติก (osmotic solution) ซึ่งเตรียมจากสารละลายความเข้มข้นสูง อย่างไรก็ตามข้อจำกัดหนึ่งของกระบวนการออสโมซิส คือ การจัดการกับสารละลายออสโมติกที่ใช้แล้วปริมาณมาก ถึงแม้จะมีแนวทางการใช้สารละลายออสโมติกให้เกิดประโยชน์สูงขึ้นได้ แต่ต้องใช้ต้นทุนเพิ่มเติม [1] การอินฟิวชันแบบแห้ง (dry infusion) ทำได้โดยการเติมน้ำตาลลงในชิ้นผลไม้โดยตรงแล้วปล่อยให้เกิดการสัมผัสกัน วิธีนี้มีประสิทธิภาพในการดึงน้ำออกจากผลไม้ได้ โดยใช้หลักการความแตกต่างทางศักยภาพเคมี (chemical potential gradients) ระหว่างเนื้อเยื่อผลไม้กับน้ำตาลที่เติมลงไป มีผลให้เกิดการเกิดกลไกการแพร่ของน้ำออกจากชิ้นผลไม้ได้ กระบวนการอินฟิวชันแบบแห้งจึงเป็นการดึงน้ำออกจากผลไม้วิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหาการเหลือทิ้งสารละลายออสโมติกปริมาณมากหลังการแช่ผลไม้ในสารละลาย [2]

การออสโมซิสนิยมแช่ผลไม้ในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลานาน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีรสหวานมากและเสียกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของผลไม้ ผลิตภัณฑ์มีโอกาสเหี่ยวและคล้ำระหว่างการทำแห้งด้วยลมร้อน อีกทั้งการบริโภคน้ำตาลปริมาณมากทำให้เกิดโรคอ้วนและโรคเบาหวาน ซึ่งเป็นปัญหาหลักด้านสุขภาพและไม่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงสนใจใช้ตัวถูกละลายทางเลือกชนิดต่าง ๆ แทนการใช้น้ำตาลซูโครส ได้แก่ น้ำตาลโอลิโกฟรุคโตส (oligofructose) เป็นน้ำตาลโอลิโกแซคคาร์ไรด์ชนิดย่อยไม่ได้ มีสมบัติเป็น พรีไบโอติก ให้รสหวานและพลังงานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณ 50% และสามารถใช้ในการดึงน้ำออกจากผลไม้ได้ [3] มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสตาร์ชให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง มีรายงานว่าสามารถใช้มอลโทเดกซ์ทรินเพื่อการดึงน้ำออกจากผลไม้ได้ [4] ซอร์บิทอล (sorbitol) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง ให้รสหวานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณ 50%-60% แต่มีสมบัติในการดูดความชื้นมากกว่า จึงช่วยลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ลงได้มาก [1]

แม้กระบวนการอินฟิวชันแบบแห้งจะสามารถดึงน้ำออกจากผลไม้ได้ แต่มักใช้เวลานานในการปล่อยให้ตัวถูกละลายละลายและเกิดการถ่ายเทมวลสารจนถึงสมดุล งานวิจัยนี้สนใจใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ (ultrasound) ร่วมด้วย เป็นการใช้พลังงานคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมากกว่า 20 kHz สามารถช่วยกระตุ้นการถ่ายโอนมวลสารได้เนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์ sponge effect หรือ cavitation effect ที่เกิดจากการสั่นของคลื่น ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากในสารละลาย โดยฟองอากาศที่เกิดขึ้นและยุบตัวนี้จะกระแทกสัมผัสกับชิ้นผลไม้ ทำให้เนื้อเยื่อผลไม้เกิดรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งมีโอกาสเพิ่มการถ่ายโอนมวลสารได้มากขึ้น โดยการใช้อัลตราซาวด์ในระยะเวลาสั้นจะไม่ทำลายลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้ไปมากนัก จึงยังคงมีลักษณะคล้ายของสดอยู่ [6]

งานวิจัยนี้มีแนวคิดแปรรูปสับปะรดทองระยองกึ่งแห้ง โดยสับปะรดพันธุ์ทองระยองเป็นสับปะรดพันธุ์ล่าสุดที่ได้รับการประกาศเป็นสินค้าที่มีลักษณะเฉพาะต้องบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication, GI) เมื่อ พ.ศ.2562 และยังไม่พบว่ามีการนำสับปะรดพันธุ์ทองระยองมาแปรรูปด้วยวิธีอินฟิวชันแบบแห้ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาผลของชนิดตัวถูกละลายทางเลือกต่อค่าการถ่ายโอนมวลสารของสับปะรดทองระยองระหว่างกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง และ

2) เพื่อศึกษาผลของสภาวะการใช้อัลตราซาวด์ต่อค่าการถ่ายโอนมวลสารของสับปะรดที่ผ่านกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง

2. ระเบียบวิธีวิจัย

นำสับปะรดพันธุ์ทองระยอง น้ำหนักประมาณ 400 กรัมต่อผล มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18-20 องศาบริกซ์ หั่นเป็นแว่นหนาประมาณ 2 เซนติเมตร ใช้พิมพ์สแตนเลสแบบกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร กดตัดเพื่อแยกส่วนเปลือกและตาออก แล้วหั่นเนื้อสับปะรดเป็นชิ้นคล้ายสามเหลี่ยม แว่นละ 4 ชิ้น โดยไม่ตัดส่วนแกนออก ล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วลวกด้วยไอน้ำเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล โดยการนึ่งในลังถึง เป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยให้เย็นบนตะแกรง [7]

2.1 การศึกษาผลของชนิดตัวถูกละลายต่อค่าการถ่ายโอนมวลสารระหว่างกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง

ตัวถูกละลายที่ใช้ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส (ตราลิน, ประเทศไทย) โอลิโกฟรุกโตส (P95, Beneo ORAFTI®, ประเทศเบลเยียม) มอลโทเดกซ์ทริน (DE 10-15, บริษัท อีเบส จำกัด, ประเทศไทย) ซอร์บิทอล (บริษัท Univar Australia Pty, ประเทศออสเตรเลีย)

กระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง ทำได้โดยเตรียมชิ้นสับปะรดไว้ในอ่างสแตนเลสแล้วเติมตัวถูกละลายลงไปในชิ้นสับปะรด กำหนดใช้ตัวถูกละลาย 700 กรัม/กิโลกรัม ของน้ำหนักเนื้อสับปะรด คลุกให้เข้ากันแล้วปล่อยให้ละลาย 30 นาที จากนั้นถ่ายตัวอย่างลงในถุงพลาสติกชนิด LDPE ปิดผนึกสนิท แล้วแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที [8] แล้วนำตัวอย่างมาเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนครบเวลา 720 นาที [2]

2.2 การศึกษาผลของการใช้อัลตราซาวด์ต่อค่าการถ่ายโอนมวลสารเมื่อผ่านกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง

เมื่อเลือกตัวถูกละลายที่เหมาะสมได้แล้ว นำมาคลุกกับสับปะรดให้เข้ากันตามสัดส่วนที่กำหนด ปล่อยให้ละลาย 30 นาที ถ่ายลงในถุงพลาสติกแล้วปิดผนึกสนิท นำไปเตรียมขั้นต้นโดยใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ ทำได้โดยนำถุงที่บรรจุชิ้นสับปะรดไปวางลงใน ultrasonic bath ที่บรรจุน้ำไว้เป็นตัวกลาง กำหนดใช้อัลตราซาวด์ที่ความถี่ 38.5 kHz ตามเวลาที่กำหนด (15 และ 30 นาที) สำหรับสิ่งทดลองที่ใช้อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) ไม่ต้องเปิดตัวทำความร้อนของเครื่อง สำหรับสิ่งทดลองที่ต้องให้ความร้อนร่วมด้วยให้ตั้งอุณหภูมิเครื่องอัลตราซาวด์ที่ 50±2 องศาเซลเซียส แล้วจึงแช่ตามเวลาที่กำหนด เปรียบเทียบกับการแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิอย่างเดียวและไม่ใช้การเตรียมขั้นต้นเลย รายละเอียดดังตารางที่ 1 หลังการเตรียมขั้นต้นนำตัวอย่างมาเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนครบเวลา 720 นาที

2.3 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายโอนมวลสาร

สุ่มตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการแช่ทุก 90 นาที นำสับปะรดมาล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดสารละลายส่วนเกินที่ผิวออกแล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ ชั่งน้ำหนักและหาปริมาณความชื้น [9] คำนวณค่าการถ่ายโอนมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reduction; WR) จากสูตรดังนี้

$$WL(\%) = \frac{W_o M_o - W_t M_t}{W_o} \times 100$$

$$SG(\%) = \frac{[W_t(100 - M_t) - W_o(100 - M_o)}{W_o} \times 100$$

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

W_o = น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)

W_t = น้ำหนักหลังการแช่ (กรัม)

M_0 = ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (กรัม/100 กรัม)

M_t = ปริมาณความชื้นหลังแช่ (กรัม/ 100 กรัม)

ตารางที่ 1 สภาวะการเตรียมขั้นต้นโดยใช้อัลตราซาวด์ที่สภาวะต่าง ๆ และการแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

สิ่งทดลอง	การแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	การใช้อัลตราซาวด์	
		อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
USLT15	ไม่ใช้	28±2	15
USLT30	ไม่ใช้	28±2	30
USHT15	ไม่ใช้	50±2	15
USHT30	ไม่ใช้	50±2	30
WB	ใช้*	-	-
Control	ไม่ใช้	-	-

* ควบคุมอุณหภูมิที่ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสับปะรดกึ่งแห้ง

นำสับปะรดที่ผ่านกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้งตามสภาวะที่เหมาะสมที่เลือกได้ มาทำแห้งต่อด้วยการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 15-40% และมีค่า a_w อยู่ช่วง 0.65-0.90 ให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง [1] สุ่มตัวอย่างมาประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้บริโภคทั่วไป 30 คน

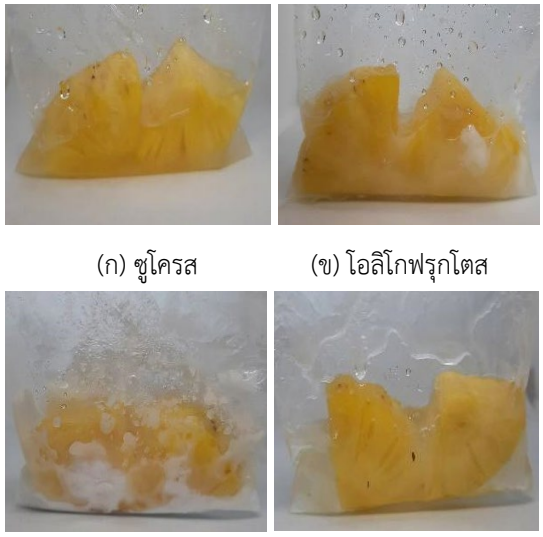
2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) สำหรับการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทุกด้านยกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม Minitab® 18

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลของชนิดตัวถูกละลายต่อค่าการถ่ายโอนมวลสารระหว่างกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง

งานวิจัยนี้เป็นกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง ไม่มีการเติมน้ำเพื่อละลายตัวถูกละลาย จึงต้องใช้เวลาให้ตัวถูกละลายมีโอกาสละลายกับน้ำที่แพร่ออกจากชิ้นสับปะรด จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เวลา 720 นาที เพียงพอที่จะทำให้น้ำตาลซูโครสและซอร์บิทอลละลายได้หมด ในขณะที่มอลโทเดกซ์ทรินมีส่วนที่ไม่ละลายเหลืออยู่ค่อนข้างมาก ส่วนโอลิโกฟรุกโตสมีบางส่วนที่ยังละลายไม่หมด



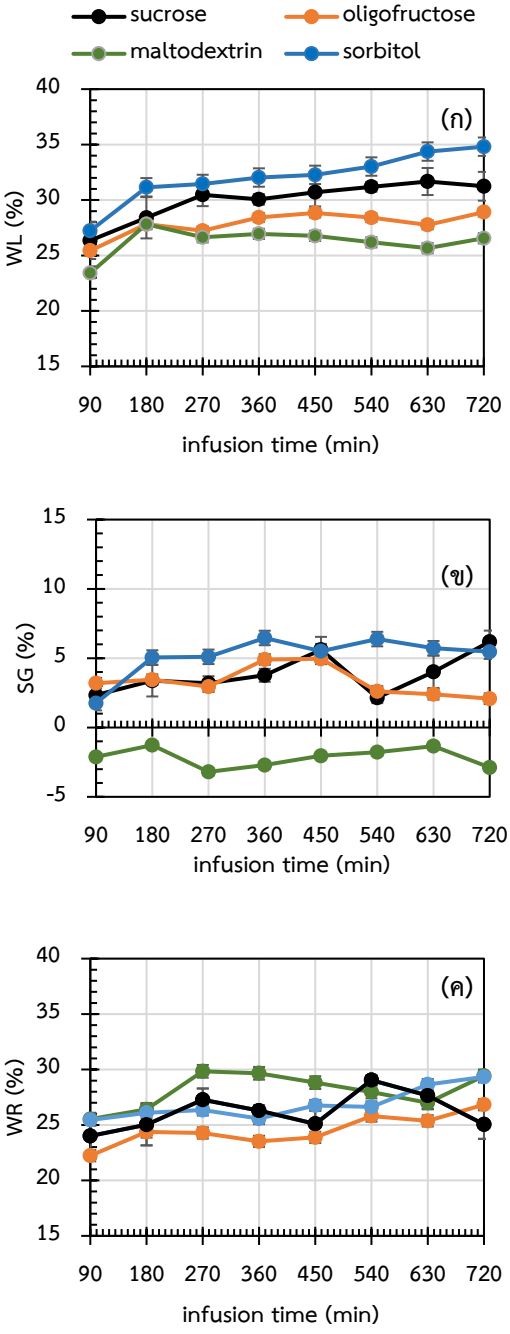
(ก) ซูโครส (ข) โอลิโกฟรุกโตส

(ค) มอลโทเดกซ์ทริน (ง) ซอร์บิทอล

รูปที่ 1 ลักษณะของสิ่งทดลองที่ใช้ถูกละลายชนิดต่าง ๆ เมื่อผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง 720 นาที

มวลโมเลกุลเป็นสาหตุสำคัญต่อการถ่ายโอนมวลสาร การใช้ตัวถูกละลายที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะสามารถแพร่เข้าไปในชิ้นอาหารได้รวดเร็วกว่าตัวถูกละลายที่มีมวลโมเลกุลสูง ส่งผลให้เกิดแรงดันออสโมติกในการดึงน้ำออกจากตัวอย่างอาหารได้มากกว่า [10], [11] จากงานวิจัยนี้สามารถเรียงลำดับมวลโมเลกุลจากต่ำไปสูงได้ดังนี้ ซอร์บิทอล (182.17 กรัม/โมล) น้ำตาลซูโครส (342.30 กรัม/โมล) [12] น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตส (828 กรัม/โมล) [11] และมอลโทเดกซ์ทริน (7,700 กรัม/โมล) [13]

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ชนิดของตัวถูกละลายที่ใช้ในกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้งในงานวิจัยนี้มีผลต่อค่าการถ่ายโอนมวลสาร (WL, SG และ WR) ($p<0.05$) จาก รูปที่ 2 ก) พบว่า ตลอดกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้งนี้ การใช้ซอร์บิทอลมีผลให้ค่า WL สูงที่สุด ($p<0.05$) เมื่อใช้เวลา 720 นาที มีค่า WL 33.97% ซึ่งแนวโน้มค่า WL สอดคล้องกับมวลโมเลกุล ที่พบว่าสิ่งทดลองที่มีการใช้ตัวถูกละลายที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าเอื้อต่อการแพร่เข้าสู่เซลล์ของพืชได้ง่ายกว่า ส่งผลให้เกิดแรงดันออสโมติกสูงกว่า จึงมีโอกาสกระตุ้นให้เกิดแรงขับในการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่า ดังนั้นจึงพบว่า สิ่งทดลองที่มีค่า WL รองลงมาจากซอร์บิทอลมีแนวโน้มดังนี้ น้ำตาลซูโครส โอลิโกฟรุกโตส และมอลโทเดกซ์ทริน ตามลำดับ โดยการใช้น้ำตาลซูโครสและโอลิโกฟรุกโตส มีค่า WL ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) การใช้โอลิโกฟรุคโตส และมอลโทเดกซ์ทริน มีค่า WL ต่ำที่สุด ($p<0.05$) ในช่วง 90 นาที มีค่า WL มาก (ประมาณ 23%-27%) อาจเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกชิ้นสับปะรดมาก จึงเกิดแรงขับมากที่จะทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากชิ้นสับปะรดได้มาก อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เวลานานขึ้น ค่า WL มีโอกาสเพิ่มขึ้นไม่มากเท่ากับช่วงแรกของการแช่ โดยการลดลงของการแพร่ของน้ำเมื่อเวลานานขึ้น เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่แพร่เข้ามาในชิ้นอาหาร โดยของแข็งสามารถแพร่มาเคลือบที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นอาหารที่อาจทำให้ปิดกั้นการแพร่ออกของน้ำได้ [14]



รูปที่ 2 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของสับปะรดที่ใช้ถูกละลายชนิดต่าง ๆ ระหว่างการอินฟิวชันแบบแห้ง

จาก รูปที่ 2 ข) พบว่า การใช้ซอร์บิทอลและน้ำตาลซูโครสมีผลให้มีค่า SG สูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ โอลิโกฟรุกโตส และมอลโทเดกซ์ทริน ตามลำดับ การที่ใช้ซอร์บิทอลและน้ำตาลซูโครสมีผลให้เกิดการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าไปในชิ้นสับปะรดได้มากอาจเกี่ยวข้องกับความสามารถให้การละลายในน้ำ ที่พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ความสามารถการละลายในน้ำ (20 ℃) ของซอร์บิทอลและน้ำตาลซูโครส เท่ากับ 2039 กรัม/ลิตร และ 2350 กรัม/ลิตร ตามลำดับ [12] นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มสอดคล้องกับมวลโมเลกุลด้วย ที่พบว่าสิ่งทดลองที่มีการใช้ตัวถูกละลายที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าเอื้อต่อการแพร่เข้าสู่เซลล์ของพืชได้ง่ายกว่า รวมทั้งยังสอดคล้องกับลักษณะการละลายที่สังเกตเห็น และจากรูปที่ 2 ข) พบว่า การใช้มอลโทเดกซ์ทรินมีค่า SG เป็นลบซึ่งแสดงว่าตัวอย่างสูญเสียของแข็งไป สอดคล้องกับที่มีการรายงานว่าในกระบวนการดึงน้ำออกจากมันฝรั่งโดยใช้มอลโทเดกซ์ทริน มีค่า SG เป็นลบ เป็นผลจากความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ระหว่างชิ้นมันฝรั่งและสารละลายแตกต่างกัน โดยของแข็งที่ละลายได้ในชิ้นมันฝรั่ง เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและสารอาหารที่มีมวลโมเลกุลต่ำสามารถแพร่ออกจากชิ้นมันฝรั่งผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ ในขณะที่มอลโทเดกซ์ทรินไม่สามารถแพร่เข้าไปในชิ้นมันฝรั่งได้เนื่องจากมีมวลโมเลกุลสูง [4] จากภาพรวมของผลการวิจัยจะเห็นว่าค่า WL อยู่ในช่วง 23-34% ในขณะที่ค่า SG อยู่ในช่วง -3.2-6.5% แสดงให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการอินฟิวชันนี้ มีการสูญเสียน้ำมากกว่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง เนื่องจากโมเลกุลของน้ำมีขนาดเล็กกว่าของแข็งจึงมีโอกาสแพร่ผ่านเซลล์เมมเบรนที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านได้มากกว่า

จาก รูปที่ 2 ค) แสดงถึงค่า WR ซึ่งเป็นผลของปริมาณน้ำที่สูญเสียเป็นส่วนใหญ่ที่หักปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นออก พบว่า ที่เวลา 720 นาที การใช้มอลโทเดกซ์ทรินมีค่า WR สูงที่สุดเท่ากับ 29.43% เนื่องจากสิ่งทดลองนี้มีการสูญเสียน้ำหนักจากปริมาณของแข็งที่ลดลงด้วยนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างกับการใช้ซอร์บิทอลและโอลิโกฟรุกโตสที่มีค่า WR เท่ากับ 28.00% และ 26.83% ตามลำดับ ($p \geq 0.05$)

จากการพิจารณาพฤติกรรมการถ่ายโอนมวลสารระหว่างกระบวนการ พบว่า ในช่วงเวลา 90-720 นาที ซอร์บิทอลมีค่า WL สูงที่สุด และมีข้อสังเกตว่าที่ 720 นาที ซอร์บิทอลละลายได้ทั้งหมด กระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง เป็นการดึงน้ำออกจากวัตถุดิบโดยการเติมตัวถูกละลายลงไปโดยตรง ไม่ได้เตรียมอยู่ในรูปสารละลาย การละลายได้หมดของตัวถูกละลายจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการดึงน้ำออก จากการวิจัยนี้พบข้องสังเกตว่าการที่ตัวถูกละลายละลายได้ไม่หมดโดยเฉพาะเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทริน ที่ยังเคลือบติดกับชิ้นสับปะรด แสดงให้เห็นว่าเป็นตัวถูกละลายที่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน รวมทั้งการใช้มอลโทเดกซ์ทรินและโอลิโกฟรุกโตสมีค่า WL ต่ำกว่าการใช้ซอร์บิทอล จึงไม่ควรเลือกใช้ในการทดลองต่อไป รวมทั้งการใช้โอลิโกฟรุกโตส ซึ่งมีสมบัติเป็นพรีไบโอติกอาจต้องคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสมในการบริโภคเพื่อลดโอกาสการเกิดอาการข้างเคียงจากการบริโภคในปริมาณมากเกินไป เช่น อาการท้องเดิน ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ซอร์บิทอลทำให้ได้ค่า WR และ SG มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$) การมี SG สูงมีผลดีในการเพิ่มมวลของแข็ง ที่เพิ่มโอกาสการสร้างพันธะกับน้ำอิสระซึ่งมีผลต่อการลดค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นตัวถูกละลายที่เหมาะสมที่สุดที่จะเลือกใช้สำหรับขั้นตอนต่อไป คือ ซอร์บิทอล

3.2 ผลของการใช้อัลตราซาวด์ต่อค่าการถ่ายโอนมวลสารเมื่อผ่านกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง

จากตารางที่ 2 พบว่า การเตรียมขั้นต้นทุกวิธีที่ใช้ทำให้มีค่า WL มากกว่าตัวควบคุม (control) แสดงให้เห็นว่าหากต้องการเพิ่มการแพร่ของน้ำออกจากชิ้น

สับปะรดต้องใช้การเตรียมขั้นต้นร่วมด้วย และผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลอง USHT15 และ USHT30 ซึ่งใช้อัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ 50±2 เป็นเวลา 15-30 นาที มีค่า WL มากที่สุด 37.18%-38.05% ($p<0.05$) โดยทำให้ค่า WL มากกว่าตัวควบคุม (22.51%) ถึงประมาณ 14.67%-15.87% แสดงให้เห็นว่าการใช้อัลตราซาวด์ร่วมกับการใช้อุณหภูมิสูงช่วยกระตุ้นการแพร่ออกของน้ำได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัลตราซาวด์เป็นคลื่นที่มีความถี่สูง (มากกว่า 20 kHz) สามารถส่งพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งด้วยการถ่ายโอนพลังงานกลของอนุภาคผ่านตัวกลาง ในการเคลื่อนที่ของคลื่นนี้จะเกิดปรากฏการณ์ captivation effect ซึ่งเกิดขึ้นในตัวกลางที่ได้รับคลื่นอัลตราโซนิกเนื่องมาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้น โดยฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในตัวกลางสัมผัสกับแรงสั่นที่เกิดจากคลื่นอัลตราซาวน์เป็นระยะ ๆ และเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างกัน ฟองอากาศดังกล่าวมีผลทำให้เกิดรูขนาดเล็กขึ้นในชิ้นผักผลไม้ได้ [15] สอดคล้องกับที่มีการรายงานว่าการใช้อัลตราซาวด์จัดเป็นการเตรียมขั้นต้นวิธีหนึ่งที่มีการรายงานถึงผลดีต่อการกระตุ้นการถ่ายโอนมวลสารได้จากการทำลายผนังเซลล์พืชเพียงเล็กน้อยจากการทำให้เกิดรูขนาดเล็ก [6] สำหรับการใช้อุณหภูมิสูงร่วมด้วยในการอัลตราซาวด์มีโอกาสทำให้โครงสร้างบางส่วนของผักผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป คือ เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลงจึงทำให้การแพร่ผ่านของน้ำและตัวถูกละลายเป็นไปได้ง่ายกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามต้องไม่ใช้ความร้อนที่สูงเกินไปอาจทำให้เซลล์แตกซึ่งทำให้สารประกอบอื่น ๆ แพร่ออกมาได้ด้วย [4] จากตารางที่ 2 พบว่า สิ่งทดลอง USLT15 ซึ่งใช้อัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ใช้ความร้อนร่วมด้วยเป็นเวลาเพียง 15 นาที มีค่า WL น้อยกว่าสิ่งทดลอง WB ซึ่งเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แสดงให้เห็นว่าแม้ใช้เวลาเตรียมขั้นต้นเท่ากัน การกระตุ้นการแพร่ของน้ำด้วยความร้อนส่งผลให้มีค่า WL มากว่าการใช้อัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิห้อง และพบว่า สิ่งทดลอง WB มีค่า WL ไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) กับสิ่งทดลอง USLT30 ซึ่งใช้อัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ 28±2 เป็นเวลา 30 นาที แสดงให้เห็นแนวทางว่าหากต้องการหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิสามารถใช้อัลตราซาวด์ได้แต่ต้องใช้เวลานานขึ้น

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ของสับปะรดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นต่าง ๆ และอินฟิวชันแบบแห้ง 720 นาที

สิ่งทดลอง	WL (%)
USLT15	$28.44^{c}\pm1.15$
USLT30	$34.32^{b}\pm1.02$
USHT15	$37.08^{ab}\pm0.40$
USHT30	$38.05^{a}\pm1.45$
WB	$34.41^{b}\pm1.03$
Control	$22.51^{d}\pm1.25$

^{a,b,c,d} คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) มีค่าอยู่ในช่วง 5.47%-6.70% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า WL (22.51%-38.15%) แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้งทำให้เกิดปริมาณน้ำที่แพร่ออกจากชิ้นสับปะรดมากว่าปริมาณของแข็งที่แพร่เข้าไปในชิ้นสับปะรด โดยค่า SG ของแต่ละสภาวะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) โดยพบแนวโน้มว่าสิ่งทดลองที่ใช้อัลตราซาวด์ทุกสิ่งทดลองและสิ่งทดลอง WB ยังไม่ได้ช่วยกระตุ้นให้เกิดการแพร่เข้าของของแข็งเข้ามาในชิ้นสับปะรดมากนัก อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นที่ใช้นี้ส่งผลให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อที่เอื้อต่อการแพร่ออกของน้ำได้มากกว่า การใช้อัลตราซาวด์มีโอกาสทำลายเนื้อเยื่อให้เกิดเป็นลักษณะรูพรุนขนาดเล็ก ๆ และสำหรับการใช้ความร้อนจากการแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิมีโอกาสทำลายเยื่อเนื้อเยื่อให้มีลักษณะอ่อนนุ่มมากขึ้น การทำลายเนื้อเยื่อสับปะรดที่เกิดขึ้นนี้จึงอาจ

ส่งเสริมให้น้ำซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็กแพร่ออกมากกว่าที่จะให้ตัวถูกละลาย (ซอร์บิทอล) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าแพร่เข้ามาในชิ้นสับปะรด

ตารางที่ 3 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) ของสับปะรดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นต่าง ๆ และอินฟิวชันแบบแห้ง 720 นาที

สิ่งทดลอง	SG^{ns} (%)
USLT15	5.52±0.90
USLT30	5.76±1.40
USHT15	6.58±0.29
USHT30	6.47±0.67
WB	5.47±0.37
Control	6.70±0.59

^{ns} คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ของสับปะรดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นต่าง ๆ และอินฟิวชันแบบแห้ง 720 นาที

สิ่งทดลอง	WR (%)
USLT15	22.93^{c}±1.75
USLT30	28.56^{b}±1.77
USHT15	30.49^{ab}±0.27
USHT30	31.58^{a}±0.77
WB	29.23^{ab}±0.94
Control	15.39^{d}±0.94

^{a,b,c,d} คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4 พบว่า การเตรียมขั้นต้นทุกวิธี ทำให้มีค่า WR มากกว่าตัวควบคุม ซึ่งมีแนวโน้มคล้ายกับค่า WL และพบว่า สิ่งทดลอง USLT30 USHT15 USHT30 และ WB มีค่า WR มากที่สุด 28.56%-31.58% ($p<0.05$) โดยทำให้ค่า WR มากกว่าตัวควบคุม (15.39%) ถึงประมาณ 13.17%-16.19% แสดงให้เห็นว่าการใช้อัลตราซาวด์ร่วมกับการใช้อุณหภูมิสูงหรือการใช้เวลาที่นานเพียงพอสามารถช่วยกระตุ้นการแพร่ออกของน้ำในระหว่างกระบวนการได้

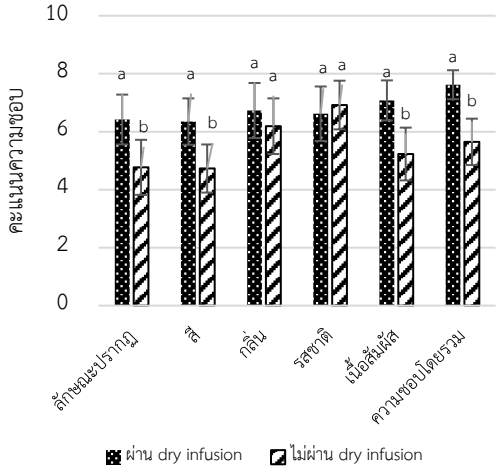
จากการพิจารณาพฤติกรรมการถ่ายโอนมวลสาร พบว่า อัลตราซาวด์มีส่วนช่วยในการถ่ายโอนมวลสาร โดยเฉพาะทำให้ ค่า WL และ WR เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม สภาวะการใช้อัลตราซาวด์อุณหภูมิ ที่ 50±2 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 และ 30 นาที ที่มีค่า WL และ WR สูงที่สุด ($p<0.05$) โดยเฉพาะค่า WL มีค่ามากกว่าสิ่งทดลองอื่น ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อทำการทดลองต่อจึงเลือกใช้การเตรียมขั้นต้นโดยใช้อัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ ที่ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยไม่เลือกการใช้เวลา 30 นาที เนื่องจากหลีกเลี่ยงโอกาสการสูญเสียสาระสำคัญต่าง ๆ เช่น วิตามินซี สารให้กลิ่นรส ปริมาณกรด เป็นต้น ที่อาจสูญเสียได้เพิ่มขึ้นหากใช้เวลาอัลตราซาวด์เพิ่มขึ้น การใช้เวลานานเกินไปอาจทำให้เนื้อเยื่อของชิ้นสับปะรดได้รับความเสียหายมาก เนื้อสัมผัสจะเปลี่ยนแปลงไปจากของสดมาก และจากการสังเกตในการทำการทดลองพบว่า เนื้อสับปะรดที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการอัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ ที่ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีเนื้อนิ่มกว่าการใช้เวลา 15 นาที

3.3 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสับปะรดกึ่งแห้ง

จากการนำสับปะรดมาผ่านกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้งตามสภาวะที่เลือกได้ คือ การใช้ซอร์บิทอลเป็นตัวถูกละลายและผ่านการเตรียมขั้นต้นโดยใช้อัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ ที่ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตัวอย่างมาเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส จนครบเวลา 720 นาที นำตัวอย่างมาทำแห้งต่อด้วยการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งใช้เวลาทำแห้ง 3 ชั่วโมง ในขณะที่สับปะรดที่ไม่ผ่านการอิน

ฟิวชันใช้เวลาทำแห้ง 4 ชั่วโมง โดยมีปริมาณความชื้น (36%) และค่า water activity (0.8) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และเป็นไปตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง [1]

จากรูปที่ 3 แสดงคะแนนความชอบทางการประเมินทางประสาทสัมผัสของสับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง พบว่า สับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าสับปะรดกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง ($p<0.05$)



รูปที่ 3 คะแนนความชอบเฉลี่ยจากการประเมินทางประสาทสัมผัสของสับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง (^{a,b} คือ ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$))

สับปะรดกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งมีการยุบตัวจากการทำแห้งด้วยลมร้อน ในขณะที่สับปะรดกึ่งที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง มีการยุบตัวน้อยกว่า จึงทำให้ลักษณะปรากฏของสับปะรดแตกต่างกันและผู้ทดสอบชอบสับปะรดกึ่งที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งมากกว่าเพราะมีลักษณะเป็นชิ้นคงรูปดี น่ารับประทานมากกว่า สำหรับด้านเนื้อสัมผัส พบว่า สับปะรดที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง มีเนื้อสัมผัสที่กรอบ คล้ายสับปะรดสดจึงทำให้ได้รับความชอบมากกว่า ในขณะที่สับปะรดที่ไม่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและค่อนข้างแข็ง ทำให้ผู้บริโภคชอบเนื้อสัมผัสของสับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งมากกว่า สำหรับด้านสี พบว่า สับปะรดกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง ใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่าจึงมีโอกาสทำให้มีสีเข้มกว่า ในขณะที่สับปะรดที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้ง ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าและยังมีตัวถูกละลายที่เคลือบพื้นผิวทำให้ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสีได้

อย่างไรก็ตามสับปะรดกึ่งแห้งได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) โดยยังคงมีกลิ่นของสับปะรดที่คล้ายกันจึงทำให้ผู้ทดสอบแยกออกได้ยาก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3 แสดงแนวโน้มคะแนนความชอบด้านกลิ่นของสับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งเป็นที่ชื่นชอบมากกว่า ส่วนด้านรสชาติพบข้อสังเกตว่า สับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งมีรสหวานมากกว่า (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 55 องศาบริกซ์) ในขณะที่สับปะรดที่ไม่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งมีรสหวาน (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 18 องศาบริกซ์) น้อยกว่าจึงรับรสเปรี้ยวของสับปะรดได้ด้วย ผู้บริโภคที่ชอบรสหวานน้อยและมีรสเปรี้ยวด้วยคล้ายสับปะรดสดอาจพึงพอใจในรสชาติมากกว่า จึงมีแนวโน้มได้รับคะแนนสูงกว่า แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติยังไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

4. สรุป

ชนิดของตัวถูกละลายมีต่อค่าการถ่ายโอนมวลสารของสับปะรดทองระยองระหว่างกระบวนการ อินฟิวชันแบบแห้ง โดยการใช้ซอร์บิทอลทำให้มีค่าการถ่ายโอนมวลสารสูงที่สุด ($p<0.05$) จากการศึกษาผลของสภาวะการใช้อัลตราซาวด์ต่อค่าการถ่ายโอนมวลสารของสับปะรดที่ผ่านกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง พบว่า

การเตรียมขั้นต้นโดยใช้อัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ 50±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เมื่อใช้เวลาในกระบวนการครบ 720 นาที ทำมีค่า WL SG และ WR เท่ากับ 37.08% 6.58% และ 30.49% ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งแห้งที่ผ่านการอินฟิวชันแบบแห้งนี้ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการอินฟิวชันแบบแห้ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2563

6. เอกสารอ้างอิง

[1] D. Torregiani, “Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing,” *Food Research International*, vol. 26, pp. 59-69, 1993.

[2] S.M. Alzamora, S. Guerrero, A.B. Nieto and S. Vidales, *Combined preservation technologies for fruits and vegetables: training manual,* Rome: The Agricultural and Food Engineering Technologies Service, 2003.

[3] V. A. Rao, “The prebiotic properties of oligofructose at low intake levels,” *Nutrition Research*, vol. 21, pp. 843-848, 2001.

[4] A. M. Goula, M. Kokolaki and E. Daftsiou, “Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes,” *Food and Bioproducts Processing*, vol. 105, pp. 157-170, 2017.

[5] D. Torreggiani, E. Forni, E., M.L. Erba and F. Longoni. “Functional properties of pepper osmodehydrated in hydrolyzed whey permeate with or without sorbitol,” *Food Research International*, vol. 28, pp. 161-166, 1995.

[6] N. Nowacka and M. Wedzik, “Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue,” *Applied Acoustics*, vol. 103, pp. 163–171, 2016.

[7] A. Shukla, R. S. Shukla, C. Das and V.V. Goud, “Gingerols infusion and multi-step process optimization for enhancement of color, sensory and functional profiles of candied mango,” *Food Chemistry*, vol. 300, pp. 125-195, 2019.

[8] V. Prosapio and I. Norton, “Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance,” *LWT,* vol. 80, pp. 401-408, 2017.

[9] AOAC, *Official Method of Analysis,* 15th ed. Arlington: The Association of official Analysis Chemists, 1990.

[10] A. Matusek, B. Czukor and P. Merész, “Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 9, pp. 365-373, 2008.

[11] M.R. Khan, “Osmotic dehydration technique for fruit preservation- A review,” *Pakistan Journal of Food Sciences*, vol. 22, pp. 71-85, 2012.

[12] National Center for Biotechnology Information (2021, April 27). PubChem Compound Summary for CID 5988, Sucrose.

[Online]. Available: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

[13] S. Samuhasaneetoo, S. Chaiseri, I. A. Farhat, T. Sajjaanantakul and R. Pongsawatmanit, "Application of the "Dual Sorption" Model for Water Adsorption of Maltodextrin Various DE," *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, vol. 38, pp. 515-522, 2004.

[14] S. Rodrigues and F.A.N. Fernandes, "Use of ultrasound as pretreatment for dehydration of melons," *Drying Technology*, vol. 25, pp. 1791–1796, 2007.

[15] F. A. N. Fernandes, M. I. Gallao and S. Rodrigues, "Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration," *Journal of Food Engineering*, vol. 90, pp. 186– 190, 2009.