บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 แคนตาลูป (Cantaloupe)

แคนตาลูปมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo* L. เป็นพืชตระกูลแตง มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย สำหรับประเทศไทยนิยมปลูกมากในจังหวัดนครสวรรค์ ปราจีนบุรี สระแก้ว เป็นต้น พันธุ์แคนตาลูปที่นิยมปลูกในประเทศไทย เช่น พันธุ์ฮันนี่หรือพันธุ์น้ำผึ้ง พันธุ์ซันเลดี้ พันธุ์ฮันนี่ดิว เป็นต้น (คำนึง คำอุดม, 2531) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้แคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้ (sun lady) ผลมีลักษณะกลมรี มีเปลือกแข็งเรียบสีขาวครีม เนื้อภายในมีสีส้ม มีกลิ่นหอม และรสหวาน น้ำหนักประมาณ 1.0-1.8 กิโลกรัมต่อผลขึ้นกับความสมบูรณ์ของต้น (คำนึง คำอุดม, 2531; ยุพยงษ์ สุทธิธรรม, 2542)

ความอ่อนแก่ของแคนตาลูปมีผลต่อคุณภาพของแคนตาลูปที่จะใช้ในการบริโภคและอายุการเก็บรักษา โดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลพัฒนาเต็มที่ (แก่เต็มที่) แคนตาลูปแต่ละพันธุ์จะมีอายุการเก็บเกี่ยวไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลจะใช้เวลาประมาณ 75 วันขึ้นไปถึง 130 วันนับตั้งแต่วันที่เริ่มปลูก หรือหลังจากดอกบานแล้วประมาณ 45 วัน นอกจากการนับจำนวนวันในการเก็บเกี่ยวแล้ว ระยะการเก็บเกี่ยวแคนตาลูปยังสามารถสังเกตได้จากลักษณะต่าง ๆ (คำนึง คำอุดม, 2531) ดังนี้ คือ

1. ร่างแหหรือตาข่ายที่ขึ้นอยู่รอบผล จะมีลักษณะแข็งและเห็นเป็นรอยนูนชัด
2. กลิ่นของแคนตาลูป ในแคนตาลูปพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมจะเริ่มมีกลิ่นหอมในระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้
3. สีของผลแคนตาลูป แคนตาลูปบางพันธุ์ เมื่อถึงระยะแก่สีของผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีขาวครีมหรือสีครีมนวล
4. ขั้วของผล แคนตาลูปที่อยู่ในระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จะมีรอยแยกเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างผลกับขั้วผล โดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวเมื่อเกิดรอยแยกประมาณ 50% หรือครึ่งหนึ่งของรอบขั้วผล
5. การทดสอบโดยวิธีทางเคมี โดยวัดความหนาแน่นและปริมาณน้ำตาลในเนื้อแคนตาลูป เมื่อนำเนื้อแคนตาลูปที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มาคั้นน้ำ น้ำคั้นที่ได้ควรมีความถ่วงจำเพาะไม่ต่ำกว่า 1.04 ปริมาณน้ำตาลไม่ต่ำกว่า 10% น้ำตาลซูโครสไม่ต่ำกว่า 4.5% (ธงชัย เนมขุนทด, 2531; ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2545)

องค์ประกอบของแคนตาลูปจะแตกต่างกันไปตามชนิด พันธุ์ ฤดูกาล และความอ่อนแก่ของแคนตาลูป โดยองค์ประกอบหลักที่พบมากในแคนตาลูป คือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสเป็นส่วนใหญ่ (Whiting, 1970; USDA, 2008) ส่วนกรดอินทรีย์หลักที่พบมากคือกรดซิตริกและกรดมาลิก (Pratt, 1971) นอกจากนี้แคนตาลูปยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะวิตามินซี วิตามินเอ และโปตัสเซียม (Pratt, 1971; USDA, 2008) ตารางที่ 2.1 และ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของแคนตาลูป ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแคนตาลูป

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก)	90.15
เถ้า (% โดยน้ำหนักเปียก)	0.65
โปรตีน (% โดยน้ำหนักเปียก)	0.84
ไขมันทั้งหมด (% โดยน้ำหนักเปียก)	0.19
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (% โดยน้ำหนักเปียก)	7.86
- ซูโครส	4.35
- กลูโคส	1.54
- ฟรุกโตส	1.87
- มอลโทส	0.04
- กาแลกโทส	0.06
เส้นใย (% โดยน้ำหนักเปียก)	0.9
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	9.49-14.8
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	5.96-6.76

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hernández-Gómez และคณะ (2005); Nunez-Palenius และคณะ (2007); USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2008)

2.2 การทำแห้งผลไม้โดยการออสโมซิส

2.2.1 นิยามการทำแห้งโดยการออสโมซิส

การทำแห้งผลไม้ด้วยการออสโมซิสหรือการแช่อิ่ม เป็นกระบวนการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อผลไม้ โดยอาศัยการสัมผัสกันโดยตรงหรือการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (hypertonic solution) และมีค่า water activity (a_w) ต่ำ เมื่อเทียบกับสารละลายในเนื้อผลไม้

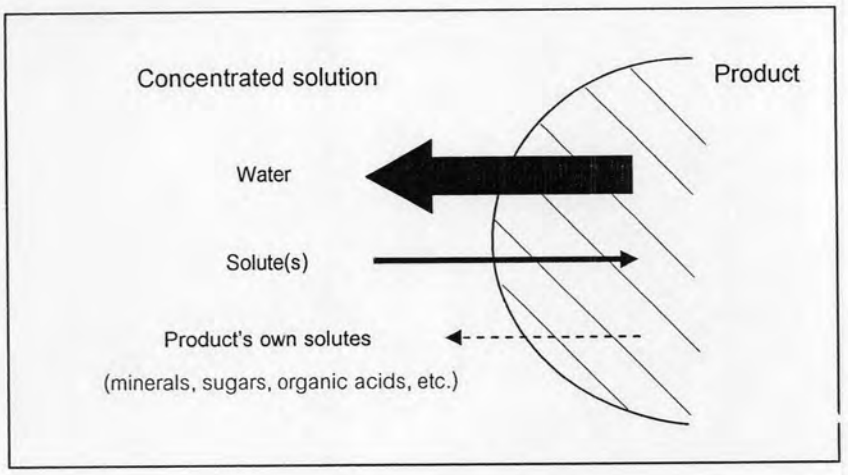
ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างน้ำในเซลล์ผลไม้กับสารละลายภายนอกเกิดเป็นแรงขับ (driving force) จึงเกิดการถ่ายเทมวลสารขึ้น โดยมีการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (counter-counter flow) ผ่านเซลล์เมมเบรนซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ คือน้ำจากภายในเซลล์ผลไม้แพร่ออกสู่สารละลาย ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของผลไม้ และสารบางอย่างในเนื้อผลไม้ เช่น กรดอินทรีย์ วิตามิน และเกลือแร่ จะแพร่ออกสู่สารละลายแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Raoult-Wack, 1994) แสดงดังรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของแคนตาลูป

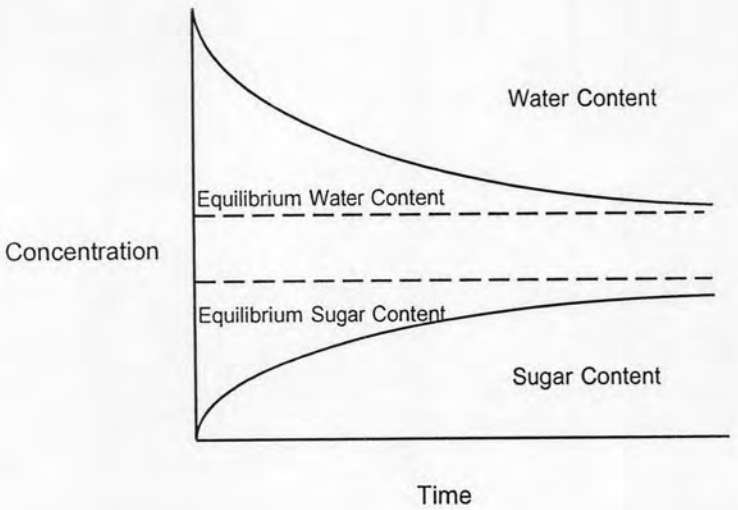
คุณค่าทางโภชนาการ (ต่อ 100 กรัมที่รับประทานได้)	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	34
โปรตีน (กรัม)	0.84
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	0.19
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	8.16
เส้นใย (กรัม)	0.90
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	9.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	15.0
โปตัสเซียม (มิลลิกรัม)	267.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.21
วิตามินเอ(IU)	3382.0
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.041
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.019
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.734
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	36.7

ที่มา : ดัดแปลงจาก USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2008)

การถ่ายเทมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะดำเนินต่อไปจนถึงภาวะสมดุล (อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าคงที่) มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผลไม้และในสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996) แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส
ที่มา : Raoult-Wack (1994)



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและปริมาณน้ำตาลในชิ้นผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส
ที่มา: Barbosa-Canovas และ Vega-Mercado (1996)

ในระหว่างการออสโมซิส การแพร่ของตัวถูกละลายจะช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องการดึงออกและปริมาณตัวถูกละลายที่เพิ่มขึ้นในเนื้อผลไม้ระหว่างการออสโมซิสได้ โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย ตัวถูกละลายที่นิยมใช้ในการออสโมซิสผลไม้ ได้แก่ ซูโครส หรือตัวถูกละลายที่สามารถละลายน้ำได้ (Raoult-Wack, 1994; Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996)

ลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งผลไม้แบบใช้ลมร้อน คือผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสเป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากเนื้อผลไม้ก่อนการอบแห้ง ทำให้ระยะเวลาที่ผลไม้สัมผัสกับความร้อนระหว่างการอบแห้งลดลง จึงช่วยรักษาสี กลิ่นรส และสารระเหยต่าง ๆ ไว้ได้ตามธรรมชาติ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏและคุณภาพที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค รวมทั้งยังคงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อีกด้วย (McBean, Joslyn and Nury, 1971; Lazarides, 2001; Torreggiani and Bertolo, 2001)

2.2.2 กระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

กระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

2.2.2.1 ขั้นตอนการคัดเลือกและการเตรียมวัตถุดิบ

การคัดเลือกวัตถุดิบให้มีความเหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญต่อกระบวนการผลิต เนื่องจากคุณภาพของวัตถุดิบส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลักษณะของวัตถุดิบที่พิจารณาในการคัดเลือก เช่น ชนิดของผลไม้ สายพันธุ์ ระดับความสุก ขนาดและรูปร่างของวัตถุดิบ

ผลไม้แต่ละชนิด แต่ละพันธุ์ จะมีอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผนังเซลล์และเซลล์เมมเบรนของผลไม้แต่ละชนิด ความเป็นรูพรุนของเนื้อผลไม้ รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีของผลไม้ (Aguilera, Chiralt and Fito, 2003) ขนาดและรูปร่างของผลไม้ก็มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารเช่นกัน โดยถ้าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรของผลไม้มีค่าสูง จะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างการออสโมซิสมีค่าสูงด้วย (Lerici et al., 1985; Marani, Agnelli and Mascheroni, 2007) แต่เนื่องจากผลไม้บางชนิดถ้าเลือกหั่นเป็นรูปทรงที่มีอัตราการถ่ายเทมวลสารสูงอาจสูญเสียวัตถุดิบเริ่มต้นปริมาณมาก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองและเพิ่มต้นทุนในการผลิต ดังนั้นการเลือกหั่นผลไม้ให้เป็นรูปทรงใดจึงต้องคำนึงถึงชนิดของผลไม้ด้วย

Shi, Fito และ Chiralt (1995) ศึกษาผลของลักษณะโครงสร้างของเนื้อผลไม้ต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส โดยใช้แอปริคอต สตรอเบอรี่ และสับปะรด หั่นเป็นชิ้นลูกบาศก์ขนาด 15 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แช่ในสารละลายแอสคอร์บิกเข้มข้น 2% (w/v) นาน 5-6 นาที เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 240 นาที พบว่าสับปะรดมีอัตราการถ่ายเทมวลสารสูงที่สุด รองลงมา คือแอปริคอต และสตรอเบอรี่ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสับปะรดมีลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อเป็นรูพรุน

มากกว่าแอปริคอตและสตรอเบอรี่ จึงเกิดการแพร่ออกของน้ำและการแพร่เข้าของตัวถูกละลายในปริมาณที่มากที่สุด

Sablani และ Rahman (2003) ศึกษาผลของรูปร่างของชิ้นมะม่วงต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส โดยหั่นเป็นสามรูปแบบ คือ แบบชิ้นลูกเต๋าขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร แบบชิ้นสไลซ์ขนาด 3.5×1.8×1.0 เซนติเมตร และแบบชิ้นรูปลิ่ม ยาว 5.5 เซนติเมตร แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าชิ้นมะม่วงแบบชิ้นลูกเต๋า ชิ้นสไลซ์ และชิ้นรูปลิ่ม มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusion coefficient) เท่ากับ 2.12×10^{-9}, 1.74×10^{-9} และ 1.94×10^{-9} เมตร^2/วินาที ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามะม่วงที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋ามีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสูงที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมากกว่าแบบชิ้นสไลซ์และแบบชิ้นรูปลิ่ม

Falade, Igbeka และ Ayanwuyi (2007) ศึกษาผลของขนาดของชิ้นแตงโมต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส โดยหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร แปรความหนาของชิ้นแตงโมเป็น 10, 20 และ 30 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่าชิ้นแตงโมที่มีความหนา 10, 20 และ 30 มิลลิเมตร มีอัตราการสูญเสียน้ำ (water loss) เท่ากับ 0.7, 0.6 และ 0.54 กรัมน้ำต่อน้ำหนักแตงโมเริ่มต้น 1 กรัม ตามลำดับ และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (solid gain) เท่ากับ 0.29, 0.2 และ 0.18 กรัมของแข็งต่อน้ำหนักแตงโมเริ่มต้น 1 กรัม ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าชิ้นแตงโมที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร มีอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสสูงที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมากที่สุด

นอกจากการคัดเลือกวัตถุดิบแล้ว การเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส ก็เป็นสิ่งสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นกัน เช่น การใช้ความร้อน และการใช้สารเคมีเพื่อช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาล หรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ รวมทั้งการใช้สารที่ช่วยเพิ่มความแข็งและกรอบของผลไม้

- การใช้ความร้อน

จุดประสงค์หลักของการใช้ความร้อนในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เป็นการช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) ที่มีอยู่ในผลไม้ เนื่องจากความร้อนจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพจึงไม่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้

(McBean et al.,1971) ซึ่งเอนไซม์ PPO ของผลไม้แต่ละชนิดจะมีเสถียรภาพต่อความร้อนที่แตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนจึงแตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลไม้มีลักษณะที่นิ่มลงจึงง่ายต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส (Lazarides et al., 1999) Kowalska, Lenart และ Leszczyk (2008) ศึกษาผลของการเตรียมฟักทองก่อนการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส โดยหั่นเป็นชิ้นลูกบาศก์ยาวด้านละ 10 มิลลิเมตร แปรวิธีการเตรียมฟักทองเป็นสองวิธี วิธีแรกคือลวกชิ้นฟักทองด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที แล้วแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 5 วินาที วิธีที่สองคือแช่แข็งชิ้นฟักทองที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับชิ้นฟักทองสดที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง จากนั้นนำชิ้นฟักทองมาแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 61.5% (w/v) เป็นเวลา 180 นาที พบว่าชิ้นฟักทองที่ผ่านการลวกจะมีอัตราการสูญเสียน้ำในระหว่างการออสโมซิสสูงกว่าชิ้นฟักทองที่ผ่านการแช่แข็งและชิ้นฟักทองสด เนื่องจากการลวกจะทำให้โครงสร้างหรือเนื้อเยื่อของฟักทองอ่อนนิ่มลง จึงเกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดี

- การใช้สารเคมี

โดยส่วนใหญ่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบมักจะมีการใช้สารเคมี เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เนื่องจากเมื่อผลไม้ผ่านการตัดแต่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ สารเคมีที่นิยมใช้ เช่น โซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก เป็นต้น (McBean et al.,1971) El-Shimi (1993) ศึกษาผลของการใช้กรดแอสคอร์บิกเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์ PPO โดยหั่นแอปเปิ้ลเป็นชิ้นสไลซ์ แช่ในสารละลายของกรดแอสคอร์บิก แปรความเข้มข้นเป็น 0, 0.5, 1 และ 1.5% เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าเมื่อระยะเวลาการแช่และความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ PPO activity ลดลง โดยการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 1.5% และระยะเวลาการแช่ 2.5 และ 3 ชั่วโมง จะมี PPO activity เหลือน้อยที่สุด ซึ่งเหลือเพียง 10%

นอกจากการใช้สารเคมีเพื่อเป็นการป้องกันการปฏิกิริยาสีน้ำตาลแล้ว ยังมีการใช้สารเคมีเพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้อีกด้วย เนื่องจากผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจะต้องผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลช่วงการออสโมซิสเป็นเวลานาน จึงอาจทำให้เนื้อผลไม้นิ่มลง ดังนั้นการใช้สารประกอบแคลเซียมจึงช่วยรักษาความคงรูปของเนื้อผลไม้ได้ เนื่องจากแคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์ของผลไม้ เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตตซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงทำให้เนื้อผลไม้มี

ความแข็งกรอบและคงตัวอยู่ได้ (Luna-Guzmán and Barrett, 2000; Lamikanra and Watson, 2007) โดยทั่วไปจะนิยมใช้ในรูปของเกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมแลคเตต แคลเซียมซิเตรต แคลเซียมซัลเฟต เป็นต้น Luna-Guzmán, Cantwell และ Barrett (1999) ศึกษาผลของการแช่ชิ้นแคนตาลูปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแคนตาลูป โดยหั่นเป็นชิ้นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร แปรความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็น 0, 1, 2.5 และ 5% (w/v) แช่เป็นเวลา 1 นาที พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ปริมาณแคลเซียมจะซึมเข้าสู่ชิ้นแคนตาลูปเพิ่มขึ้น และมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย

Aguayo, Escalona และ Artés (2008) ศึกษาผลของการแช่ชิ้นแคนตาลูปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าความแข็งของเนื้อแคนตาลูป โดยหั่นเป็นชิ้นขนาด 4.8×2.7×2.6 เซนติเมตร แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% (w/v) เป็นเวลา 1 นาที แปรอุณหภูมิในการแช่เป็น 5 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นตัวแทนของการแช่ในสารละลายที่มีอุณหภูมิต่ำและสูง โดยใช้ water bath ในการควบคุมอุณหภูมิ พบว่าชิ้นแคนตาลูปมีค่าความแข็งเท่ากับ 13.1 และ 16.2 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการแช่ชิ้นแคนตาลูปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้แคนตาลูปมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนจะทำให้แคลเซียมสามารถแพร่เข้าสู่ชิ้นของแคนตาลูปได้ง่าย

2.2.2.2 ขั้นตอนการออสโมซิส

เมื่อผลไม้ผ่านการเตรียมวัตถุดิบตามที่ต้องการแล้ว แช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติก ซึ่งจะเกิดการถ่ายเทมวลสารขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรก จากนั้นการถ่ายเทมวลสารจะค่อย ๆ ช้าลงจนเข้าสู่สมดุล โดยส่วนใหญ่ในขั้นตอนนี้จะกำจัดน้ำออกไป 40-70 กรัมต่อน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัม ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการออสโมซิส เช่น ชนิดของสารละลายออสโมติก ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก อัตราส่วนระหว่างผลไม้กับสารละลาย เป็นต้น (Raoult-Wack, 1994) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส คือ อัตราการสูญเสียน้ำ และอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง

- ชนิดของสารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกแต่ละชนิดจะมีผลต่อการถ่ายเทมวลสารที่แตกต่างกัน โดยตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีอัตราการถ่ายเทมวลสารสูงกว่าตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า (Lazarides et al., 1999) ตัวถูกละลายที่นิยมใช้เป็นสารละลายออสโมติก คือ

ซูโครส นอกจากนี้ยังมีการใช้ กลูโคส ฟรุกโตส และ hydrolyzed starch syrup เป็นต้น โดยสมบัติของสารละลายออสโมติกที่จะนำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิสนั้น จะต้องมีค่า a_w ต่ำ รสชาติดี ให้กลิ่นรสที่ดีต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายและไม่เป็นพิษ (Raoult-Wack, 1994; Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996; Lazaride, 2001) Lerici และคณะ (1985) ศึกษาผลของสารละลายที่แตกต่างกันต่อกระบวนการออสโมซิส โดยแช่ชิ้นแอปเปิ้ลขนาด 1×1×0.6 เซนติเมตร ในสารละลายออสโมติกที่แตกต่างกัน คือสารละลายซูโครสความเข้มข้น 59 องศาบริกซ์ สารละลายฟรุกโตสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ สารละลายกลูโคสความเข้มข้น 51 องศาบริกซ์ สารละลายกลูโคสร่วมกับสารละลายฟรุกโตสความเข้มข้น 66 องศาบริกซ์ สารละลาย corn hydrolyzed starch syrup ชนิด CHSS F (DE เท่ากับ 94) ความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ และ hydrolyzed starch syrup ชนิด CHSS G (DE เท่ากับ 62) ความเข้มข้น 68 องศาบริกซ์ พบว่าที่เวลาการออสโมซิส 16 ชั่วโมง การแช่ใน CHSS G มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คือ 59.2% เนื่องจากมีการแพร่เข้าของปริมาณของแข็งน้อยที่สุดคือ 7.2 กรัม ในขณะที่ปริมาณน้ำที่แพร่ออกมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่น ทั้งนี้เนื่องจาก CHSS G มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์สูงถึง 20% จึงทำให้มีการแพร่เข้าของตัวถูกละลายได้น้อย

El-Aouar และคณะ (2006) ศึกษาผลของชนิดของสารละลายออสโมติกที่แตกต่างกันต่ออัตราการถ่ายเทมวลสาร โดยหั่นมะละกอเป็นชิ้นขนาด 30×50×5 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายซูโครส และสารละลาย corn syrup (DE เท่ากับ 38-40) ที่มีการกวน 80 รอบต่อนาที ความเข้มข้น 50% (w/w) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 165 นาที พบว่าชิ้นมะละกอที่แช่ในสารละลาย corn syrup จะมีอัตราการถ่ายเทมวลสารต่ำกว่าการแช่ในสารละลายซูโครส เนื่องจากสารละลาย corn syrup มีความหนืดสูง โดยชิ้นมะละกอที่แช่ในสารละลาย corn syrup มีอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งอยู่ในช่วง 24.69-24.79% และ 5.44-5.48% ตามลำดับ ส่วนชิ้นมะละกอที่แช่ในสารละลายซูโครสมีอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งอยู่ในช่วง 41.19-41.84% และ 12.00-12.28% ตามลำดับ

Rodrigues และ Fernandes (2007) ศึกษาชนิดของตัวถูกละลายที่ใช้เป็นสารละลายออสโมติกต่อการออสโมซิสเมลอน โดยหั่นเมลอนเป็นชิ้นลูกบาศก์ยาวด้านละ 0.02 เมตร แช่ในสารละลายออสโมติกที่ประกอบด้วยซูโครส 70% และ เกลือ 5% (w/w) อุณหภูมิ 42.5 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการกวน 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แปรการทดแทนซูโครสปริมาณ 20% ด้วยกลูโคสและแมนนิทอล พบว่าเมื่อแช่เมลอนในสารละลายซูโครสและเกลือที่ไม่มีการทดแทนซูโครสด้วยน้ำตาลชนิดอื่น จะมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water

diffusion coefficient) และสัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลาย (solute diffusion coefficient) ต่ำที่สุด เท่ากับ 569.0 และ 97.1 เมตร^2/ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากโมเลกุลของซูโครสมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับโมเลกุลของกลูโคสและแมนนิทอล จึงมีการแพร่ที่ช้าที่สุด

- ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ใช้มีความสำคัญต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารและระยะเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจะทำให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างชิ้นผลไม้กับสารละลายภายนอกมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และมีผลต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ด้วย (Lenart and Flink, 1984) นอกจากนี้อุณหภูมิของสารละลายก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน เนื่องจากอุณหภูมิของสารละลายมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสาร ถ้าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากความร้อนจะไปทำให้เนื้อเยื่อและโครงสร้างของผนังเซลล์ของผลไม้อ่อนตัวลง (Ponting et al., 1966) Corzo และ Gomez (2004) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูป โดยหั่นแคนตาลูปเป็นชิ้นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.08 $\pm$ 0.05 เซนติเมตร ความสูง 1.56 $\pm$ 0.06 เซนติเมตร แช่ในสารละลายซูโครสแปรความเข้มข้น (45, 50, 55 องศาบริกซ์) แปรอุณหภูมิของสารละลาย (40, 45, 50 องศาเซลเซียส) และแปรเวลาในการแช่ (60, 90, 120 นาที) อัตราส่วนของสารละลายออสโมติกต่อแคนตาลูปเป็น 20:1 คำนวณหาค่าน้ำหนักที่ลดลง (mass loss) อัตราการสูญเสียน้ำ (water loss) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (°Brix increase) จากนั้นหาภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ desired function methodology (response surface method) พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูป คืออุณหภูมิ 37.95 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 41.6 องศาบริกซ์ และใช้เวลาในการแช่ 132.30 นาที ซึ่งจะให้ค่าน้ำหนักที่ลดลง 0.11 กรัมต่อกรัมเริ่มต้นของแคนตาลูป ค่าอัตราการสูญเสียน้ำ 0.33 กรัมต่อกรัมเริ่มต้นของแคนตาลูป และค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น 12.3 องศาบริกซ์ต่อกรัมเริ่มต้นของแคนตาลูป

Rastogi และ Raghavarao (2004) ศึกษาผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสสับปะรด โดยหั่นเป็นชิ้นลูกบาศก์ขนาด 15 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แช่ในสารละลายซูโครสที่แปรความเข้มข้นเป็น 40, 50, 60 และ 70 องศาบริกซ์ และแปรอุณหภูมิเป็น 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส แช่นาน 6 ชั่วโมง พบว่าเมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้นจะทำให้มีอัตราการสูญเสียน้ำ

และอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูงจะทำให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างชิ้นผลไม้กับสารละลายภายนอกมีค่าสูง และเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะช่วยให้ชิ้นผลไม้มีลักษณะที่อ่อนนิ่มลง ทำให้มีอัตราการถ่ายเทมวลสารสูงขึ้น โดยการแช่ชิ้นสับปะรดในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและตัวถูกละลายสูงที่สุด เท่ากับ 3.24×10^{-9} เมตร^2/วินาที และ 1.54×10^{-9} เมตร^2/วินาที ตามลำดับ

Falade และคณะ (2007) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสาร โดยหั่นแตงโมเป็นชิ้นขนาด 50×20×10 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายซูโครสแปรความเข้มข้นเป็น 40, 50 และ 60 องศาบริกซ์ แปรอุณหภูมิเป็น 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 2 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิส จากนั้นเริ่มลดลงจนเข้าสู่สมดุล เมื่อสารละลายซูโครสมีความเข้มข้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้มีอัตราการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้นด้วย โดยชิ้นแตงโมที่แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งสูงที่สุด เท่ากับ 0.82 กรัมน้ำต่อกรัมน้ำหนักเริ่มต้น และ 0.55 กรัมของแข็งต่อกรัมน้ำหนักเริ่มต้น ตามลำดับ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและตัวถูกละลายที่มีค่าสูงที่สุดเช่นกัน โดยมีค่าเท่ากับ 4.091×10^{-8} เมตร^2/วินาที และ 2.966×10^{-8} เมตร^2/วินาที ตามลำดับ

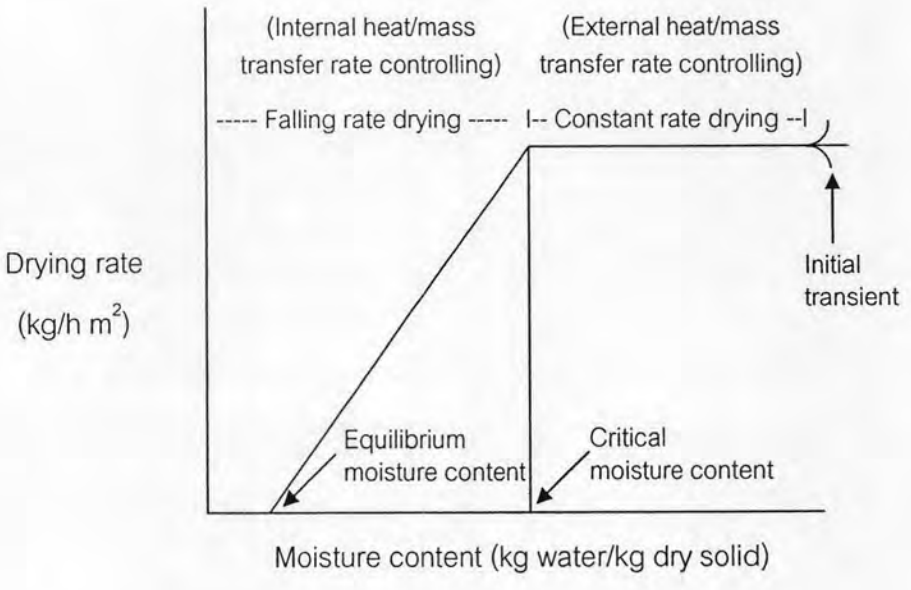
นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ดังที่กล่าวมานี้แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกและผลไม้ การกวนสารละลายออสโมติกในขณะแช่ การนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมามีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง การที่จะเลือกใช้ปัจจัยใดเป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพนั้น จะพิจารณาจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน ซึ่งได้แก่ สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ความยากง่ายในการผลิต ค่าใช้จ่ายในการผลิต ความต้องการของตลาด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และเป็นการประหยัดเวลา แรงงาน และต้นทุนในการผลิต

2.2.2.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ คือมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.65 ทำให้อาหารเก็บไว้ได้นาน กระบวนการอบแห้งของอาหารโดยทั่วไป แบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) ในช่วงแรกของการอบแห้ง ความชื้นที่บริเวณผิวหน้าอาหารจะระเหยออกไปและน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารก็จะเคลื่อนที่ขึ้นมาทดแทนที่ผิวหน้า ซึ่งการระเหยของน้ำในช่วงนี้จะเกิดได้รวดเร็วด้วยอัตราคงที่ (รูปที่ 2.3) จากนั้นอัตราการอบแห้งจะดำเนินต่อไปจนถึงจุดปริมาณความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่ไปเป็นอัตราการอบแห้งลดลง

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) เป็นช่วงการอบแห้งหลังจากผ่านจุดปริมาณความชื้นวิกฤต ในช่วงนี้อัตราการอบแห้งจะลดลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในชิ้นอาหารขึ้นมาทดแทนที่ผิวหน้าเกิดขึ้นได้ช้าลง ทำให้การระเหยออกของน้ำเป็นไปได้ยากขึ้น อัตราการอบแห้งจึงลดลง จนถึงจุดปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) (Mujumdar, 1997)



รูปที่ 2.3 กราฟอัตราการอบแห้งภายใต้ภาวะการอบแห้งที่คงที่

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mujumdar (1997)

ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการออสโมซิส ยังคงมีปริมาณน้ำเหลืออยู่สูงจึงต้องนำมาอบแห้งต่อเพื่อลดปริมาณความชื้นลงจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการอบแห้งต้องมีลักษณะภายนอกแห้งไม่เปียกชื้น เนื้อในนุ่ม ไม่แข็งกระด้าง มีความชื้นต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) และมีค่า a_w น้อยกว่า 0.65 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) ซึ่งค่า a_w ดังกล่าวอยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้ ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ลงได้

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิส ได้แก่

- ลักษณะโครงสร้างตามธรรมชาติของเนื้อผลไม้ ถ้าเนื้อผลไม้มีลักษณะความเป็นรูพรุนมาก การระเหยออกของน้ำก็จะเร็วกว่าผลไม้ที่มีเนื้อแข็งหรือมีความเป็นรูพรุนน้อยกว่า
- ขนาดและรูปร่างของผลไม้ ผลไม้ที่มีรูปร่างเหมือนกันแต่ขนาดต่างกัน ชิ้นที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่า จึงมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าชิ้นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนผลไม้ที่มีปริมาตรเท่ากันแต่รูปร่างต่างกันจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่แตกต่างกันด้วย
- ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่ใช้ในการออสโมซิส โดยการใช้น้ำตาลบางชนิดที่มีสมบัติในการดูดความชื้น (hygroscopic) จะจับกับน้ำไว้ได้ดี ทำให้ในระหว่างการอบแห้งน้ำระเหยออกได้ช้า นอกจากนี้การใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้ความหนืดของสารละลายภายในชิ้นผลไม้มีค่าสูง จึงส่งผลให้อัตราการอบแห้งต่ำ
- อุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้ในการอบ การเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วลมจะทำให้การแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ดีขึ้น อัตราการอบแห้งจึงสูง แต่บางครั้งการใช้อุณหภูมิการอบที่สูงเกินไป อาจทำให้ผิวหน้าของชิ้นผลไม้แห้งแข็ง (case hardening) ขัดขวางการระเหยออกของน้ำที่อยู่ภายในได้

นอกจากที่ปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลถึงอัตราการอบแห้งแล้วยังส่งผลต่อเนื่องถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายอีกด้วย เช่น คุณภาพด้านลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง โดยการใช้ตัวถูกละลายที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ในการออสโมซิส อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดการหดตัวเนื่องจากในเนื้อของผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสมีปริมาณตัวถูกละลายอยู่น้อย ดังนั้นเมื่อน้ำระเหยออกไปในระหว่างการอบแห้งจึงอาจทำให้เกิดการเสียรูปร่างหรือโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และเมื่ออบแห้งจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ตามต้องการหรือมีค่า a_w ไม่เกิน 0.65 อาจทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้แห้งหรือแข็งเกินไป และการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้งหรือแข็งกระด้าง ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อ

ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งผลไม้ เช่น Newton, Page's, Henderson and Pabis, Logarithmic, Two-term, Verma และ Modified Henderson and Pabis เป็นต้น (Togrul and Pehlivan, 2003; Doymaz, 2004; Mandala et al.,2005 และ Dissa et al., 2008)

Baroni และ Hubinger (1998) ศึกษาผลของการเตรียมหัวหอมก่อนการอบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง โดยหั่นหัวหอมเป็นชิ้นขนาด 0.8×0.8×0.15 เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 และ 15% นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่แปรอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบกับการอบแห้งหัวหอมสดที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง พบว่าเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือมีอัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นด้วย และที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกันสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการอบแห้งของชิ้นหัวหอมสดมีค่าน้อยกว่าชิ้นหัวหอมที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ นั่นคือชิ้นหัวหอมสดจะมีอัตราการอบแห้งช้ากว่าชิ้นหัวหอมที่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากการอบแห้งชิ้นหัวหอมสดจะเกิดเปลือกแข็งที่ผิว ดังนั้นน้ำภายในชิ้นหัวหอมจึงแพร่ออกมาได้ยาก โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 15% จะมีอัตราการอบแห้งช้ากว่า 10% เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสที่ความเข้มข้น 15% จะมีการแพร่ออกของน้ำและการแพร่เข้าของตัวถูกละลายสูงกว่า 10% ดังนั้นปริมาณเกลือที่ซึมเข้าไปในชิ้นหัวหอมจึงปิดช่องว่างที่ผนังเซลล์ ประกอบกับเกลือมีสมบัติในการดูดความชื้น ทำให้น้ำระเหยออกมาได้ยาก อัตราการอบแห้งจึงลดลง

Simal และคณะ (2005) เปรียบเทียบการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Exponential และ Page's ในการทำนายลักษณะการอบแห้งผลกีวี โดยหั่นผลกีวีเป็นชิ้นลูกเต๋าขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่แปรอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 30–90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ค่าคงที่การอบแห้ง (ค่าคงที่ k) และอัตราการอบแห้งของทั้งสองแบบจำลองมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยการใช้แบบจำลอง Page's สามารถทำนายลักษณะการอบแห้งผลกีวีได้ดีกว่าแบบจำลอง Exponential

Doymaz (2007) ศึกษาผลของการเตรียมผลเชอรี่ก่อนการอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งและศึกษาการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายลักษณะการอบแห้ง โดยใช้ผลเชอรี่ที่มีรัศมีประมาณ 1.62 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 81.7% (โดยน้ำหนักเปียก) เปรียบเทียบ

ระหว่างผลเชอรี่สดที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างและผลเชอรี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่ประกอบด้วยเอทิลโอลีเอท 2% และโพแทสเซียมคาร์บอเนท 5% เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส จนความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 20% พบว่าเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน ผลเชอรี่ที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าผลเชอรี่สด เนื่องจากการแช่ในสารละลายก่อนการอบแห้งจะทำให้โครงสร้างของผลอ่อนนิ่มลงจึงช่วยลดแรงต้านทานการแพร่ของน้ำ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูง และช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งลงได้ โดยที่อุณหภูมิการอบแห้ง 55 และ 65 องศาเซลเซียส ผลเชอรี่สดที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างจะใช้ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 27 และ 20 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนผลเชอรี่ที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างจะใช้ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 17 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลที่ได้แทนค่าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบต่าง ๆ ดังนี้ Lewis, Henderson and Pabis, Page's, Logarithmic, Two-term, Two-term exponential, Wang and Singh และ Midilli et al. พบว่าแบบจำลองแบบ Logarithmic และ Midilli et al. สามารถทำนายลักษณะการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าแบบจำลองอื่น

Garcia, Mauro และ Kimura (2007) ศึกษาผลของภาวะการเตรียมฟักทองต่ออัตราการอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ โดยหั่นฟักทองเป็นชิ้นตามแกนกลางผล พื้นที่ผิว 20-25 ตารางเซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร แบ่งภาวะการเตรียมตัวอย่างเป็นสองแบบ คือชิ้นฟักทองสดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและชิ้นฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60% (w/w) อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งชิ้นฟักทองด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งของชิ้นฟักทองทั้งสองชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าชิ้นฟักทองสดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสจะมีอัตราการอบแห้งช้ากว่าชิ้นฟักทองที่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากชิ้นฟักทองสดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสจะเกิดเปลือกแข็งที่บริเวณผิวหน้าจึงขัดขวางการกำจัดน้ำออกจากชิ้นฟักทอง นอกจากนี้ชิ้นฟักทองที่ผ่านการออสโมซิสจะมีการหดตัวน้อยกว่าชิ้นฟักทองที่ไม่ผ่านการออสโมซิส เนื่องจากในระหว่างการออสโมซิสจะมีการแพร่ของซูโครสเข้าไปในเนื้อเยื่อ จึงทำให้มีการหดตัวน้อยหรือช่วยลดการหดตัวของชิ้นฟักทองได้

2.3 การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

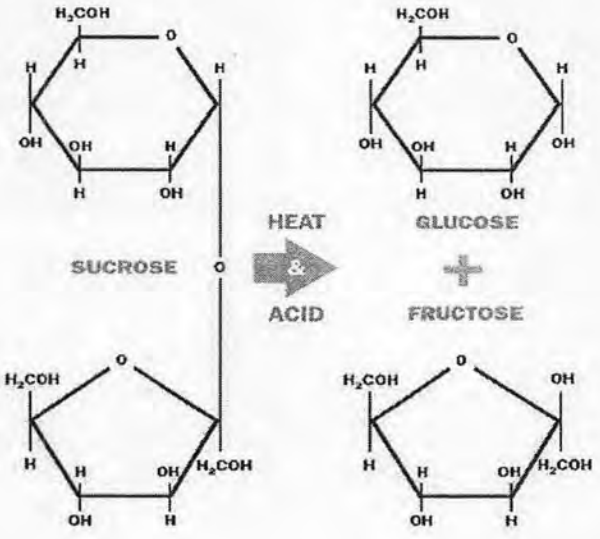
ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปหลายขั้นตอน อาจทำให้คุณภาพของผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์สุดท้าย การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งสามารถทำได้ในหลายขั้นตอนของกระบวนการผลิต โดยเฉพาะในขั้นตอนการออสโมซิส

2.3.1 การปรับปรงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่สำคัญในระหว่างการเก็บรักษา คือการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำตาลส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งกรอบและมีเกล็ดน้ำตาลเกาะบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการควบคุมการเกิดผลึกน้ำตาลจึงเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งสามารถทำได้โดยการควบคุมไม่ให้เกิดนิวเคลียสของผลึกโดยการปรับสัดส่วนของน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการออสโมซิส (Brown, 1969) โดยน้ำตาลที่ใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรม คือ กลูโคสไซรัป และน้ำตาลอินเวิร์ต

น้ำตาลอินเวิร์ตเป็นน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสด้วยกรดหรือการใช้เอนไซม์ ได้เป็นกลูโคสและฟรุกโตสในสัดส่วนที่เท่ากัน (British Sugar, 2008) ดังรูปที่ 2.4 โดยน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้นซึ่งจะลดการรวมตัวกันของโมเลกุลน้ำตาล จึงช่วยชะลอการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้น้ำตาลอินเวิร์ตยังมีค่า a_w ต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส จึงมีประสิทธิภาพในการลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครส (Fennema,1996; British Sugar, 2008)



รูปที่ 2.4 ไฮโดรไลซิสของน้ำตาลซูโครสด้วยกรดและความร้อนเป็นน้ำตาลอินเวิร์ต

ที่มา: British Sugar (2008)

Camargo, Moreti และ Ledo (2004) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตในการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของมะเขือเทศ โดยผ่าครึ่งผลมะเขือเทศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 65-75 มิลลิเมตร แปรวิธีการทำแห้งเป็นห้าวิธี คือการแช่ชิ้นมะเขือเทศในของแข็งที่ประกอบด้วยน้ำตาลและเกลือ อัตราส่วน 10:1 (SM), การแช่ชิ้นมะเขือเทศในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยซูโครส 58.5% น้ำ 35% เกลือ 6.5% (SS65), สารละลายผสมของซูโครส 49.5% น้ำ 45% เกลือ 5.5% (SS55), สารละลายผสมของซูโครส 22.5% น้ำตาลอินเวิร์ต 36% น้ำ 35% เกลือ 6.5% (ISS65) และสารละลายผสมของซูโครส 18% น้ำตาลอินเวิร์ต 31.5% น้ำ 45% เกลือ 5.5% (ISS55) โดยทุกชุดการทดลองจะแช่เป็นเวลา 40 นาที พบว่าการแช่ชิ้นมะเขือเทศในสารละลายผสม ISS65 และ ISS55 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งมากกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากสารละลายผสมที่ใช้ประกอบด้วยน้ำตาลอินเวิร์ตซึ่งมีขนาดเล็กกว่าซูโครสจึงแพร่เข้าสู่ชิ้นมะเขือเทศได้มาก โดย ISS65 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่สูงกว่า ISS55 เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่มากกว่า เมื่อวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่าการใช้ ISS65 จะช่วยลดค่า a_w ได้ดีที่สุด คือมีค่า a_w ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.775 และการใช้ ISS65 จะมีคะแนนการยอมรับด้านสี ลักษณะปรากฏ และรสชาติ สูงกว่าทุกชุดการทดลอง

อาพร ละออกอ (2547) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสและคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา โดยแปรปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่ทดแทนในสารละลายซูโครสเป็น 0, 5, 10 และ 15% (v/v) พบว่าเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลอินเวิร์ตมีขนาดเล็ก จึงเกิดการถ่ายเทมวลสารได้ดี จากนั้นอบแห้งมะละกอที่ผ่านการออสโมซิสทุกชุดการทดลองด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก polypropylene (PP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพียงเล็กน้อย และการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตจะช่วยลดการเกิดผลึกน้ำตาลบริเวณผิวหน้าได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

จิราพร กอศรีลบุตร (2549) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตต่อคุณภาพของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา โดยแปรความเข้มข้นของน้ำตาลอินเวิร์ตเป็น 0, 5, 10 และ 15% (v/v) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเลือกชุดการทดลองที่มีการทดแทนซูโครสด้วยน้ำตาลอินเวิร์ต 0, 5 และ 10% เพื่อนำไปเก็บรักษา โดยบรรจุในถุงพลาสติก PP เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมน้ำตาล

อินเวิร์ต 10% มีคุณภาพดีที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าสี และลักษณะเนื้อสัมผัสน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น และมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าชุดการทดลองอื่น นอกจากนี้ภาพถ่ายจากเครื่อง Cryo-SEM แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตสามารถชะลอการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

2.3.2 การปรับปรุงคุณภาพด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์

การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งทั่วไปในปัจจุบันมักมีการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลานาน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีรสหวานมากและไม่มีกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ของผลไม้ อีกทั้งการบริโภคน้ำตาลสูงทำให้เกิดโรคอ้วนซึ่งเป็นปัญหาหลักด้านสุขภาพ (Blundell and Graaf, 1993) เมื่อพิจารณาปัจจัยในระหว่างการออสโมซิส พบว่าชนิดของสารละลายออสโมติก ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากโมเลกุลของตัวถูกละลายแต่ละชนิดมีขนาดที่แตกต่างกัน จึงทำให้การแพร่ของของแข็งหรือน้ำตาล (solid gain) เข้าเนื้อผลไม้แตกต่างกันด้วย ตัวถูกละลายที่น่าสนใจที่อาจช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ คือมอลโทเดกซ์ทริน

มอลโทเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโมเลกุลสตาร์ชด้วยกรดและ/หรือเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วงโอลิโกเมอร์จนถึงแมคโครโมเลกุล สามารถจำแนกผลิตภัณฑ์ตามระดับการย่อยหรือค่าสมมูลเดกซ์โทรส (dextrose equivalent, DE) โดยมอลโทเดกซ์ทรินจะมีค่า DE อยู่ในระดับต่ำ คือ ไม่เกิน 20 ส่วนในกรณีที่มีค่า DE มากกว่า 20 เรียกว่า glucose syrups, glucose solids หรือ syrup solids (Chronakis, 1998; Marchal, Beeftink and Tramper, 1999; White, Hudson and Adamson, 2003; Tester, Qi and Karkalas, 2006) ซึ่งมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE แตกต่างกันส่งผลให้สมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกันด้วย เช่น มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำ จะมีขนาดเฉลี่ยของโมเลกุลสูงหรือโมเลกุลมีขนาดใหญ่ มีความหนืดสูง มีสมบัติในการละลายน้ำหรือดูดซับความชื้นต่ำ มีความสามารถในการถ่ายเทมวลสารในกระบวนการออสโมซิสต่ำ นอกจากนี้ยังมีระดับความหวานที่ต่ำ เมื่อเทียบกับมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE สูง (Chronakis, 1998; Marchal et al., 1999)

การที่มอลโทเดกซ์ทรินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าซูโครสจึงทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีค่าลดลงหรือมีปริมาณของตัวถูกละลายแพร่เข้าสู่เนื้อผลไม้น้อยลง รวมทั้งโมเลกุล

มีระดับความหวานน้อยกว่าซูโครส เมื่อใช้ร่วมกับซูโครสในระหว่างการออสโมซิสจะทำให้ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีรสที่ไม่หวานมากเกินไปหรือมีความหวานลดลงจากผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม

Lazarides, Katsanidis และ Nickolaidis (1995) ศึกษาผลของขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส โดยหั่นแอปเปิ้ลเป็นชิ้นตามแกนกลางของผลหนา 7-8 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายซูโครส และสารละลาย corn syrup solid ที่มี DE ตั้งแต่ 18-42 ที่ความเข้มข้น 55% (w/w) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าแอปเปิ้ลที่แช่ในสารละลาย corn syrup solid จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งน้อยกว่าชิ้นแอปเปิ้ลที่แช่ในสารละลายซูโครส เนื่องจากโมเลกุลของ corn syrup solid มีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลของซูโครส และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะในสารละลาย corn syrup solid พบว่าชิ้นแอปเปิ้ลที่แช่ในสารละลาย corn syrup solid DE 4 2 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งสูงที่สุดเท่ากับ 0.165% เนื่องจาก corn syrup solid ที่มี DE สูงจะมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า corn syrup solid ที่มี DE ต่ำ จึงเกิดการแพร่ได้ดี จากนั้นศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DE ของ corn syrup solid กับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลายเข้าสู่ชิ้นแอปเปิ้ล พบว่าการแช่ชิ้นแอป-เปิ้ลในสารละลาย corn syrup solid ที่มีค่า DE เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง

Dermesonlouoglou, Giannakourou และ Taoukis (2007a) ศึกษาผลของการใช้มอลโทเดกซ์ทรินต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสและคุณภาพของมะเขือเทศแช่แข็ง โดยหั่นมะเขือเทศเป็นชิ้นสไลซ์หนา 6 มิลลิเมตร ลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 8 วินาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นแช่ชิ้นมะเขือเทศในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน (high DE) ความเข้มข้น 56.5% (w/w) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าชิ้นมะเขือเทศมีอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็ง เท่ากับ 8.42 และ 1.80 กรัมต่อกรัมมะเขือเทศเริ่มต้น ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นมะเขือเทศสด ชิ้นมะเขือเทศที่ผ่านการลวกเพียงอย่างเดียว และชิ้นมะเขือเทศที่ผ่านการลวกแล้วออสโมซิส มาแช่แข็งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ศึกษาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของชิ้นมะเขือเทศแช่แข็ง พบว่าชิ้นมะเขือเทศแช่แข็งที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินช่วยรักษาความแข็งของชิ้นมะเขือเทศไว้ได้ โดยที่ลักษณะของเนื้อเยื่อไม่เปื่อยยุ่ยเมื่อผ่านการละลายน้ำแข็ง นอกจากนี้ชิ้นมะเขือเทศที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินยังมีคะแนนการยอมรับด้านสี เนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับโดยรวมสูงอีกด้วย โดยมีคะแนนเท่ากับ 7, 7, 7.5 และ 7.2 ตามลำดับ

Dermesonlouoglou, Pourgouri และ Taoukis (2008) ศึกษาผลของชนิดของสารละลายออสโมติกที่แตกต่างกันต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของแตงกวาแช่แข็ง โดยใช้แตงกวาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ปอกเปลือกแล้วหั่นเป็นชิ้นตามขวางของผลหนา 6 มิลลิเมตร ลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 40 วินาที จากนั้นแช่ชิ้นแตงกวาในสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 56.5% (w/w) ที่แปรเป็นสองชนิด คือสารละลายโอลิโกฟรุกโตสและสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน และแปรอุณหภูมิการแช่เป็น 15, 35 และ 55 องศาเซลเซียส แช่เป็นเวลา 360, 300 และ 180 นาที ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิของการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และที่อุณหภูมิการแช่เดียวกัน ชิ้นแตงกวาที่แช่ในสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของของแข็งน้อยกว่าการแช่ในสารละลายโอลิโกฟรุกโตสตลอดระยะเวลาการออสโมซิส เนื่องจากมอลโทเดกซ์-ทรินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าโอลิโกฟรุกโตส จากนั้นนำชิ้นแตงกวาที่ผ่านการแช่ในสารละลายโอลิโกฟรุกโตสและสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน ที่อุณหภูมิการแช่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มาแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านต่าง ๆ โดยเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่ในสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินจะมีความแข็งสูง และมีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติสูง เมื่อเทียบกับการแช่ในสารละลายโอลิโกฟรุกโตส

2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

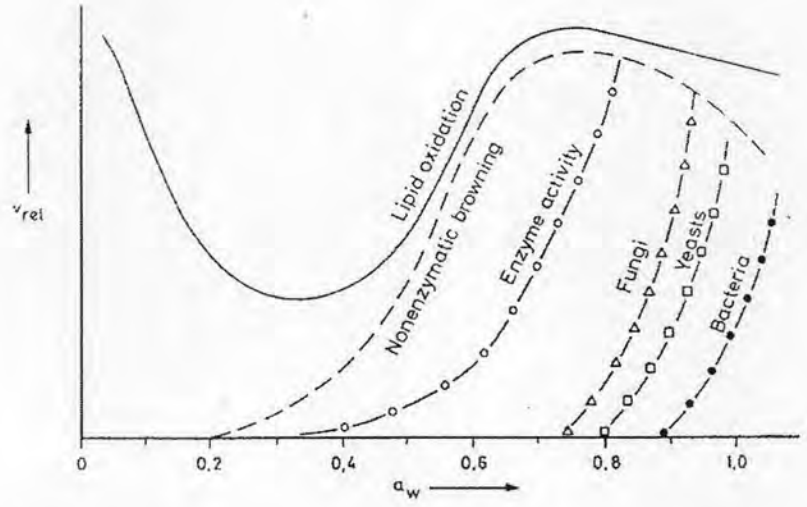
ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน แสง เป็นต้น อันเป็นสาเหตุให้เกิดการเร่งหรือกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ จึงอาจทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ส่งผลให้อาหารสูญเสียคุณภาพในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ (Singh, 2000)

2.4.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมักมีสีเข้มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาสูงเกินไป นอกจากการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์แล้ว การเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาก็เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคเช่นกัน เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำตาลจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งกรอบและมีเกล็ดน้ำตาลเกาะบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นการควบคุมการเกิดผลึกน้ำตาล จึงช่วยยืดอายุการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคได้มากขึ้น

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่สำคัญคือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ โดยจะเกิดมากในช่วงการอบแห้งและการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจัดเป็นอาหารประเภทที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate moisture food, IMF) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จะมีค่า a_w ประมาณ 0.65-0.75 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ดี (รูปที่ 2.5) อีกทั้งผลิตภัณฑ์มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง จึงส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลคล้ำไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยังทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ



รูปที่ 2.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมี
ที่มา : Belitz และ Grosch (1999)

2.4.3 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและเกิดการเน่าเสีย ดังนั้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจึงจำเป็นต้องควบคุมค่า a_w และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำพอที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยเฉพาะเชื้อราและยีสต์ (รูปที่ 2.5) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดให้ผลไม้อบแห้งต้องปริมาณความชื้นต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) และมีค่า a_w น้อยกว่า 0.65

Silveira, Rahman และ Buckle (1996) ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสีและการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง โดยนำสับปะรด

แช่อิ่มที่ผ่านการอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 26% มาเก็บในถุง PP อุณหภูมิในการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2 และ 4 เดือน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลโดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น

Forni และคณะ (1997) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์แอปริคอตแช่อิ่มอบแห้ง โดยนำแอปริคอตที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่า a_w เท่ากับ 0.86 จากนั้นเก็บในถุงพลาสติก อุณหภูมิในการเก็บรักษา -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 เดือน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง คือที่เวลา 0 เดือนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 41 และที่ระยะเวลา 8 เดือน ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 36

Acevedo และคณะ (2008) ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งและภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา โดยหั่นแอปเปิ้ลเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร แปรวิธีการอบแห้งเป็นสี่วิธี คือการอบแห้งแบบสุญญากาศ (VD), ลวกชิ้นแอปเปิ้ลโดยใช้ไอน้ำนาน 3 นาที แล้วอบแห้งแบบสุญญากาศ (B/VD), แช่แข็งแบบเร็ว (FF/FD) และแช่แข็งแบบช้า (SF/FD) จากนั้นเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แปรความชื้นสัมพัทธ์เป็น 33, 52, 64 และ 75% พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่างลดลง คือมีสีคล้ำขึ้นหรือมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ซึ่งการอบแห้งชิ้นแอปเปิ้ลด้วยวิธี B/VD จะมีสีคล้ำขึ้นมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยที่วิธีการอบแห้งและระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นชิ้นแอปเปิ้ลอบแห้งจะมีสีที่คล้ำขึ้น นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์อีกด้วย โดยการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ความแข็งของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลง ซึ่งการทำแห้งด้วยวิธี FF/FD และ SF/FD จะมีค่าความแข็งที่น้อยกว่าวิธี VD และ B/VD ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา