# บทที่ 2

# วารสารปริทัศน์

## 2.1 แคนตาลูป (cantaloupe)

แคนตาลูปเป็นพืชตระกูลแตงชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกอย่างอื่นว่า แตงเทศ หรือที่รู้จักกันในชื่อของเมลอน (melon) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Cucumis melo* L. มีถิ่นกำเนิดในแถบร้อนของทวีปแอฟริกา สำหรับประเทศไทยนิยมปลูกมากในจังหวัดนครสวรรค์ เชียงใหม่ ตาก ปราจีนบุรี สระแก้ว เป็นต้น แคนตาลูปพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากมีหลากหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ฮันนี่หรือพันธุ์น้ำผึ้ง พันธุ์ซันเลดี้ พันธุ์ฮันนี่ดิว เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ใช้แคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้ (sun lady) เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย มีผลผลิตตลอดปี สามารถปลูกและติดผลง่าย เก็บเกี่ยวได้เร็ว และสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศที่ร้อนได้ดี ผลมีลักษณะกลมรีเปลือกเรียบ สีขาวครีม เนื้อภายในมีสีขาวอมส้ม น้ำหนักประมาณ 1.0-1.8 กิโลกรัมต่อผลขึ้นกับความสมบูรณ์ของต้น (คำนึง คำอุดม, 2531; ธงชัย เนมขุนทด, 2531; ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2545)

การเก็บเกี่ยวแคนตาลูป ความแก่อ่อนของแคนตาลูปที่จะเก็บเกี่ยวมีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพของแคนตาลูปที่จะใช้ในการบริโภคและอายุการเก็บรักษา การเก็บเกี่ยวแคนตาลูปจะเก็บในระยะที่ผลพัฒนาเต็มที่ (แก่เต็มที่) แคนตาลูปแต่ละพันธุ์จะมีอายุการเก็บเกี่ยวไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลจะใช้เวลาประมาณ 75 วันขึ้นไปถึง 130 วันนับตั้งแต่วันที่เริ่มปลูก หรือหลังจากดอกบานแล้วประมาณ 45 วัน นอกจากการนับจำนวนวันในการเก็บเกี่ยวแล้ว ระยะการเก็บเกี่ยวแคนตาลูปยังสามารถสังเกตได้จากลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. ร่างแหหรือตาข่ายที่ขึ้นอยู่รอบ ๆ ผล จะมีลักษณะแข็งและเห็นเป็นรอยนูนเด่นชัด

2. กลิ่นของแคนตาลูป ในแคนตาลูปพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมจะเริ่มมีกลิ่นหอมในระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้

3. สีของผลแคนตาลูป แคนตาลูปบางพันธุ์ เมื่อถึงระยะแก่ สีของผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีขาวครีมหรือสีครีมนวล

4. ขั้วของผล แคนตาลูปที่อยู่ในระยะที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จะมีรอยแยกเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างผลกับขั้วผล โดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวเมื่อเกิดรอยแยกประมาณ 50% หรือครึ่งหนึ่งของรอบขั้วผล

5. การทดสอบโดยวิธีทางเคมี โดยวัดความหนาแน่นและปริมาณน้ำตาลในเนื้อแคนตาลูป เมื่อนำเนื้อแคนตาลูปที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มาคั้นน้ำ น้ำคั้นที่ได้ควรมีความถ่วงจำเพาะไม่ต่ำกว่า 1.04 ปริมาณน้ำตาลไม่ต่ำกว่า 10% น้ำตาลซูโครสไม่ต่ำกว่า 4.5% แต่วิธีนี้จะยุ่งยาก ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในแปลงปลูก เพราะต้องใช้เครื่องมือในการทดสอบ (ธงชัย เนมขุนทด, 2531; ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2545)

องค์ประกอบของแคนตาลูปจะแตกต่างไปกันตามชนิด พันธุ์ ฤดูกาล และความอ่อนแก่ของแคนตาลูป โดยองค์ประกอบหลักที่พบมากในแคนตาลูปคือ คาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 7.8-14.4 ของน้ำหนักผลสด ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสเป็นส่วนใหญ่ ส่วนกรดอินทรีย์หลักที่พบมากคือกรดซิตริกและกรดมาลิก (Pratt, 1971; Leach et al., 1989; Seymour and McGlasson, 1993) นอกจากนี้แคนตาลูปยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะวิตามินซี วิตามินเอ และโปตัสเซียม (USDA, 2005) ตารางที่ 2.1 และ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของแคนตาลูป

**ตารางที่** 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแคนตาลูป

| องค์ประกอบ | ปริมาณ |
|---|---|
| ความชื้น (น้ำหนักเปียก) (%) | 90.15 |
| เถ้า (%) | 0.65 |
| โปรตีน (%) | 0.84 |
| ไขมันทั้งหมด (%) | 0.19 |
| ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%) | 7.86 |
| - ซูโครส (%) | 4.35 |
| - กลูโคส (%) | 1.54 |
| - ฟรุกโตส (%) | 1.87 |
| เส้นใย (%) | 0.9 |
| ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) | 10-14.8 |
| ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) | 6.1-6.6 |

**ที่มา**: ดัดแปลงจาก Miccolis และ Saltveit (1995); USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2005)

**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 |

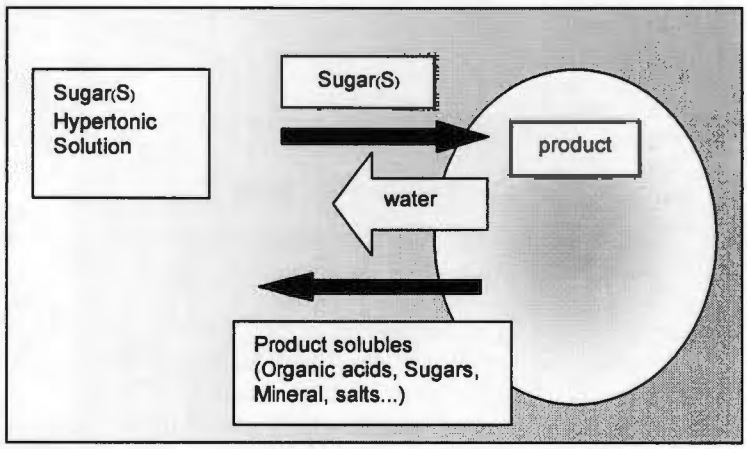
**ที่มา** : ดัดแปลงจาก USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2005)

## 2.2 การทำแห้งผลไม้โดยการออสโมซิส

2.2.1 นิยามการทำแห้งโดยการออสโมซิส (osmotic dehydration)

การทำแห้งผลไม้โดยการออสโมซิส เป็นวิธีการหนึ่งในการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผลไม้โดยอาศัยกระบวนการออสโมซิส อาจทำได้โดยการแช่ผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า (hypertonic solution) และมีค่า water activity ($a_w$) ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายในผลไม้ ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายภายนอกเกิดเป็นแรงขับ (driving force) ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้และสารละลายภายนอกจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าโดยผ่านเซลล์เมมเบรนของผลไม้ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Ponting et al.,1966) โดยการถ่ายโอนมวลสารจะเกิดในทิศทางที่สวนทางกัน (counter-counter flow) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 น้ำภายในเซลล์ผลไม้จะแพร่ออกสู่สารละลาย ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายจะแพร่เข้า

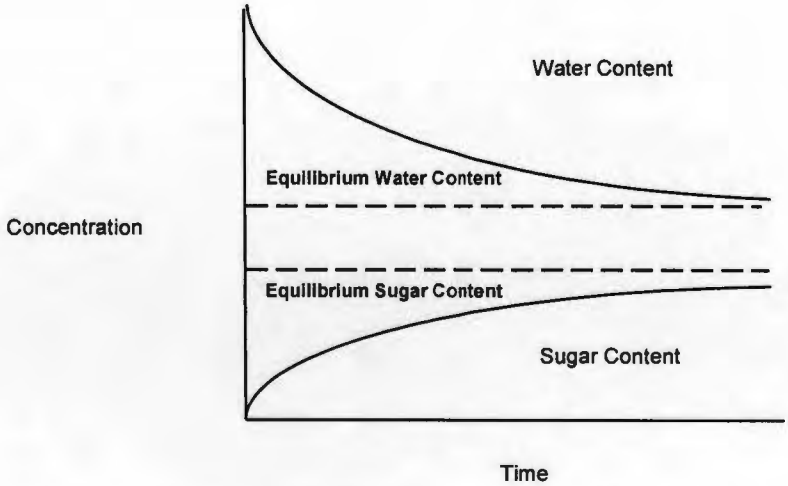
สู่เซลล์ของผลไม้ และสารบางอย่าง เช่น กรดอินทรีย์ วิตามิน และเกลือแร่ในเนื้อเยื่อผลไม้ จะแพร่ออกสู่สารละลายแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Raoult-Wack, 1994)




**รูปที่** 2.1 การถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิส

**ที่มา** : Torreggiani และ Bertolo (2004)

การถ่ายโอนมวลสารที่เกิดขึ้นทั้งของน้ำและตัวถูกละลายในกระบวนการออสโมซิสนั้นจะดำเนินต่อไปจนถึงภาวะสมดุล (อัตราการถ่ายโอนมวลของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าคงที่) มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผลไม้และในสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996) ดังแสดงในรูปที่ 2.2




**รูปที่** 2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและปริมาณน้ำตาลในชิ้นผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส

**ที่มา** : Barbosa-Canovas และ Vega-Mercado (1996)

ในระหว่างการออสโมซิสนั้นการแพร่ของตัวถูกละลายจะช้ากว่าการแพร่ของน้ำ ดังนั้นในการทำแห้งผลไม้โดยการออสโมซิส จึงสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องการดึงออกและปริมาณตัวถูกละลายที่เพิ่มขึ้นในผลไม้ได้ โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย (Islam and Flink, 1982; Raoult-Wack, 1994) นอกจากนี้ถ้าเซลล์ของผลไม้ถูกทำลาย เช่น การลวก ความร้อนจะทำให้เซลล์ผลไม้นิ่มลงทำให้การแพร่ของน้ำและตัวถูกละลายถึงจุดสมดุลได้เร็วขึ้น (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

ลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งโดยการออสโมซิสแล้วอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน คือผลิตภัณฑ์ยังคงรักษาสี กลิ่นรส และสารระเหยต่าง ๆ ไว้ได้ตามธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและยังคงคุณค่าทางโภชนาการ (Islam and Flink, 1982; Torreggiani, 1993; Lazarides, 2001)

2.2.2 กระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มแห้ง

กระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

2.2.2.1 ขั้นตอนการคัดเลือกและการเตรียมวัตถุดิบ

เป็นการคัดเลือกวัตถุดิบให้มีความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิต เช่น ลักษณะสายพันธุ์ ระดับความสุก ขนาดและรูปร่างของวัตถุดิบ เนื่องจากคุณภาพของวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลไม้แต่ละชนิด แต่ละพันธุ์ จะมีการถ่ายโอนมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมซิสไม่เหมือนกัน บางชนิดมีอัตราการถ่ายโอนมวลสูง บางชนิดมีอัตราการถ่ายโอนมวลต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างของผนังเซลล์และเซลล์เมมเบรนของผลไม้แต่ละชนิด รวมทั้งความเป็นรูพรุนของเนื้อผลไม้ด้วย

Shi และ Fito (1993) ศึกษาลักษณะโครงสร้างของเนื้อผลไม้ต่ออัตราการถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิส โดยทดลองกับผลไม้ 2 ชนิด คือ สับปะรดและแอปริคอต โดยหั่นเป็นชิ้นลูกเต๋าขนาด 15 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แช่ในสารละลายแอสคอร์บิกเข้มข้น 2% เป็นเวลา 5-6 นาที เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 240 นาที พบว่าสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (sugar gain) มากกว่าแอปริคอต ทั้งนี้เนื่องจากสับปะรดมีลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อเป็นรูพรุนมากกว่าแอปริคอต ดังนั้นตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกจึงแพร่เข้าไปในเซลล์สับปะรดได้มาก จึงมีค่าปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมากกว่าในแอปริคอต

นอกจากชนิดและพันธุ์ของผลไม้แล้ว ขนาดและรูปร่างของผลไม้ก็มีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลเช่นกัน เนื่องจากจะมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่สัมผัสต่อปริมาตรของผลไม้ ถ้าอัตราส่วนนี้สูงจะทำให้ชิ้นผลไม้มีอัตราการถ่ายโอนมวลสูง คือน้ำในชิ้นผลไม้สามารถแพร่ออกมาสู่สารละลายน้ำตาลภายนอกได้มากและเร็ว

Lerici และคณะ (1985) ศึกษาผลของรูปร่างต่อการทำแห้งแอปเปิ้ลด้วยวิธีการออสโมซิส โดยหั่นเป็นสี่รูปแบบคือชิ้นรูปสไลซ์ ชิ้นลูกเต๋าขนาด 1x1x0.6 เซนติเมตร ชิ้นรูปแท่งขนาด 6x1x1 เซนติเมตร และชิ้นรูปวงแหวนขนาดรัศมี 2.25 เซนติเมตร หนา 0.6 เซนติเมตร นำไปแช่ในสารละลาย corn hydrolyzed starch syrup ความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำ (water loss) ของแอปเปิ้ลที่หั่นเป็นชิ้นรูปวงแหวนมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือแบบชิ้นลูกเต๋า แบบชิ้นรูปแท่ง และแบบชิ้นสไลซ์ ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำเท่ากับ 70.1 68.9 65.6 และ 62.3 กรัมต่อแอปเปิ้ลสด 100 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแอปเปิ้ลแบบชิ้นรูปวงแหวนมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสารละลายมากที่สุดจึงมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำมากที่สุด

Sablani และ Rahman (2003) ศึกษาผลของรูปร่างต่อการถ่ายโอนมวลสารในการทำแห้งมะม่วงด้วยวิธีการออสโมซิส โดยทดลองหั่นเป็นสามรูปแบบ คือ แบบชิ้นลูกเต๋าขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร แบบชิ้นสไลซ์ขนาด 3.5x1.8x1.0 เซนติเมตร และแบบชิ้นรูปลิ่ม ยาว 5.5 เซนติเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 22 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปหาความชื้นเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusion coefficient) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในชิ้นมะม่วงที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋า ชิ้นสไลซ์ และชิ้นรูปลิ่ม มีค่าเท่ากับ 2.12 1.74 และ 1.94 ตามลำดับ มะม่วงที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋ามีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมากที่สุด เนื่องจากมะม่วงแบบชิ้นลูกเต๋ามีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าแบบชิ้นสไลซ์และแบบชิ้นรูปลิ่ม จึงทำให้มีการแพร่ของน้ำมากที่สุด

จากรายงานข้างต้นพบว่ารูปทรงของผลไม้แต่ละแบบมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลสารแตกต่างกัน การจะเลือกหั่นผลไม้เป็นรูปทรงใดต้องขึ้นกับชนิดของผลไม้ด้วย เนื่องจากผลไม้บางอย่างถ้าเลือกหั่นเป็นรูปทรงที่ให้อัตราการถ่ายโอนมวลสารสูงก็อาจเสียวัตถุดิบเริ่มต้นมาก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองและเพิ่มต้นทุนในการผลิต

นอกจากการคัดเลือกวัตถุดิบแล้ว การเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส หรือที่เรียกว่า การ pretreatment ก็เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเตรียมวัตถุดิบอาจมีทั้งการใช้สารเคมีและการใช้ความร้อน เพื่อช่วยในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และรวมถึงสารที่ช่วยในการเพิ่มความแข็งและความกรอบของผลไม้ ซึ่งล้วนมีผลต่อความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อตามธรรมชาติของผลไม้ ช่วยทำให้การถ่ายโอนมวลของน้ำและตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกถึงจุดสมดุลได้เร็วขึ้น (Lazarides et al., 1999)

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ศึกษาผลของการลวกสับปะรดก่อนการออสโมซิสต่ออัตราการถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิส โดยหั่นเป็นชิ้นรูปวงแหวนหนา 1 เซนติเมตร ลวกเป็นเวลา 0 2.5 5.0 7.5 และ 10 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าอัตราการถ่ายโอนมวลทั้งของน้ำและของน้ำตาลมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่ใช้ลวก แต่การใช้เวลาลวกนานกว่า 5 นาที จะทำให้ชิ้นสับปะรดมีลักษณะเปื่อยยุ่ย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่มเละไม่น่ารับประทาน

2.2.2.2 ขั้นตอนการออสโมซิส

เป็นการนำผลไม้ที่ผ่านการ pretreatment ตามที่ต้องการแล้ว แช่ในสารละลายออสโมติก ซึ่งอาจแปรปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของออสโมติกเอเจนต์ (osmotic agent) ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลาย เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการถ่ายโอนมวลสารระหว่างการออสโมซิสและปัจจัยเหล่านี้ยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย ปัจจัยที่นิยมศึกษากันโดยส่วนใหญ่ ได้แก่

- ชนิดของออสโมติกเอเจนต์

ออสโมติกเอเจนต์แต่ละชนิดจะมีผลต่อการถ่ายโอนมวลสารแตกต่างกัน สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะให้ค่าการถ่ายโอนมวลสูงกว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า (Lazarides et al., 1999) โดยทั่วไปสารที่นิยมนำมาใช้เป็นออสโมติกเอเจนต์มากที่สุด คือ ซูโครส นอกจากนี้ยังมีการใช้ high fructose corn syrup (HFCS) กลูโคส และฟรุกโตส โดยสมบัติของออสโมติกเอเจนต์ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิสนั้น จะต้องมีค่า $a_w$ ต่ำ รสชาติดี ให้กลิ่นรสที่ดีต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายและไม่เป็นพิษ (Lerici et al., 1985)

Lerici และคณะ (1985) ศึกษาผลของสารละลายที่แตกต่างกันต่อกระบวนการออสโมซิส โดยแช่แอปเปิ้ลในสารละลายที่แตกต่างกันคือ สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 59 องศาบริกซ์ สารละลายน้ำตาลฟรุกโตสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ สารละลาย corn hydrolyzed starch syrup ความเข้มข้น 68 และ 70 องศาบริกซ์ สารละลายน้ำตาลกลูโคสรวมกับสารละลายน้ำตาลฟรุกโตสความเข้มข้น 66 องศาบริกซ์ และสารละลายน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 51 องศาบริกซ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส 16 ชั่วโมง โดยใช้สารละลาย corn hydrolyzed starch syrup ความเข้มข้น 68 องศาบริกซ์ มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คือ 59.2% เนื่องจากมีการแพร่เข้าของปริมาณของแข็งน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสารละลาย corn hydrolyzed starch syrup ความเข้มข้น 68 องศาบริกซ์ มีปริมาณโพลีแซคคาไรด์สูงถึง 20% จึงทำให้มีการแพร่เข้าของสารละลายได้น้อย

- ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้มีความสำคัญต่ออัตราการถ่ายโอนมวลสารและระยะเวลาที่ใช้ในการออสโมซิส การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทำให้น้ำสามารถแพร่ออกมาจากชิ้นผลไม้ได้มากขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และมีผลต่อค่า $a_w$ ของผลิตภัณฑ์ด้วย (Lenart and Flink, 1984)

นอกจากความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกแล้ว อุณหภูมิของสารละลายก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน เนื่องจากอุณหภูมิของสารละลายมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลสาร ถ้าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น อัตราการถ่ายโอนมวลสารก็สูงขึ้น เนื่องจากความร้อนจะไปทำให้เนื้อเยื่อและโครงสร้างบางส่วนของผนังเซลล์ของผลไม้อ่อนตัวลง ทำให้การแพร่ผ่านเข้าออกของน้ำและสารละลายน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น (Ponting et al., 1966)

Rahman และ Lamb (1990) ศึกษาความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายที่มีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำและปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นของแกนสับปะรด โดยหั่นเป็นชิ้นสไลซ์หนา 6.5 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสแปรความเข้มข้น 40-70% (w/v) และแปรอุณหภูมิของสารละลายเป็น 20-65 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 40% เป็น 70% อัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้นจาก 18.3% เป็น 36.6% และปริมาณน้ำตาลก็เพิ่มสูงขึ้นแต่น้อยกว่าอัตราการสูญเสียน้ำคือมีค่าเพิ่มจาก 12% เป็น 21% และเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียสเป็น 50 องศาเซลเซียส อัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้นจาก 33% เป็น 50% และปริมาณน้ำตาลก็มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 20% เป็น 27% ทั้งนี้เนื่องจากการแพร่ออกของน้ำ

ผ่านเซลล์เมมเบรนจะง่ายกว่าการแพร่เข้าของสารละลาย และพบว่าปริมาณน้ำตาลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียสแล้วมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากผนังเซลล์ของสับปะรดมีเพกตินเป็นส่วนประกอบซึ่งมีสมบัติในการเกิดเจล ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจึงอาจเกิดการสร้างเจลขึ้นได้ ทำให้ขัดขวางการแพร่เข้าของของแข็ง อัตราการแพร่เข้าจึงลดลง

Saputra (2001) ศึกษาผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายต่อการถ่ายโอนมวลสารระหว่างการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีการออสโมซิส โดยหั่นเป็นชิ้นรูปลิ่ม ความหนา 7 มิลลิเมตร นำไปลวกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่แปรความเข้มข้น 50 60 และ 70% และแปรอุณหภูมิของสารละลายเป็น 30 50 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นคือมีค่า 0.5173 0.5538 และ 0.5756 กรัมต่อกรัมน้ำหนักเริ่มต้นตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น (0.9267 1.0330 และ 1.1205 กรัมต่อกรัมน้ำหนักเริ่มต้น ตามลำดับ) เมื่ออุณหภูมิสารละลายเพิ่มมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นคือมีค่า 0.4834 0.5187 และ 0.5420 กรัมต่อกรัมน้ำหนักเริ่มต้น ตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น (0.9817 0.9923 และ 1.3086 กรัมต่อกรัมน้ำหนักเริ่มต้น ตามลำดับ) จากการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมกับในการออสโมซิสมากที่สุดคือ ที่สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 70% อุณหภูมิของสารละลาย 50 องศาเซลเซียส แช่เป็นเวลา 9 ชั่วโมง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เนื้อสับปะรดนิ่มเละ ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะให้ค่าการถ่ายโอนมวลสารดีที่สุดก็ตาม

Corzo และ Gomez (2004) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูป โดยหั่นแคนตาลูปเป็นชิ้นรูปทรงกระบอก 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 คำนวณค่าน้ำหนักที่ลดลง อัตราการสูญเสียน้ำ และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำไปคำนวณหาภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ desired function methodology (respond surface method) พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการออสโมซิสแคนตาลูปคือ ที่อุณหภูมิ 37.95 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 41.6 องศาบริกซ์ และใช้เวลาในการแช่ 132.30 นาที ซึ่งจะให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น 12.3 องศาบริกซ์ต่อกรัม อัตราการสูญเสียน้ำ 0.33 กรัมต่อกรัม และค่าน้ำหนักที่ลดลง 0.11 กรัมต่อกรัม

Rodrigues และ Fernandes (2007) ศึกษาผลของการทำแห้งแคนตาลูปโดยการออสโมซิสในสารละลายออสโมติกสามระบบ (น้ำ/น้ำตาล/เกลือ) ก่อนนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยหั่นแคนตาลูปเป็นชิ้นลูกเต๋าขนาด 2x2x2 เซนติเมตร แช่ในสารละลายซูโครสที่แปรความเข้มข้น 30 -70% (w/w) และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แปรความเข้มข้น 0-10% (w/w) อัตราส่วนของสารละลายออสโมติกต่อแคนตาลูปเป็น 4:1 พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสและเกลือเพิ่มมากขึ้น โดยที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครสสูงสุด 70% (w/w) อัตราการสูญสียน้ำมีค่า 34.3% และเมื่อเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% (w/w) อัตราการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 23.9% ภายในสามชั่วโมงแรกของการออสโมซิส แต่การเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์มากกว่า 5% (w/w) จะส่งผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระยะเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้น การแพร่ของน้ำในระหว่างการออสโมซิสมีค่าเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้การแพร่ของน้ำในระหว่างการอบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิสจะมีค่าการแพร่ของน้ำในระหว่างการอบแห้งเท่ากับ $2.02 \times 10^{-5}$ ตารางเมตรต่อชั่วโมง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส 1 ชั่วโมง การแพร่ของน้ำในระหว่างการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยคือเพิ่มขึ้นประมาณ 22.3% และผลิตภัณฑ์ที่แช่ในสารละลายออสโมติก 2 ชั่วโมง การแพร่ของน้ำในระหว่างการอบแห้งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 78.7%

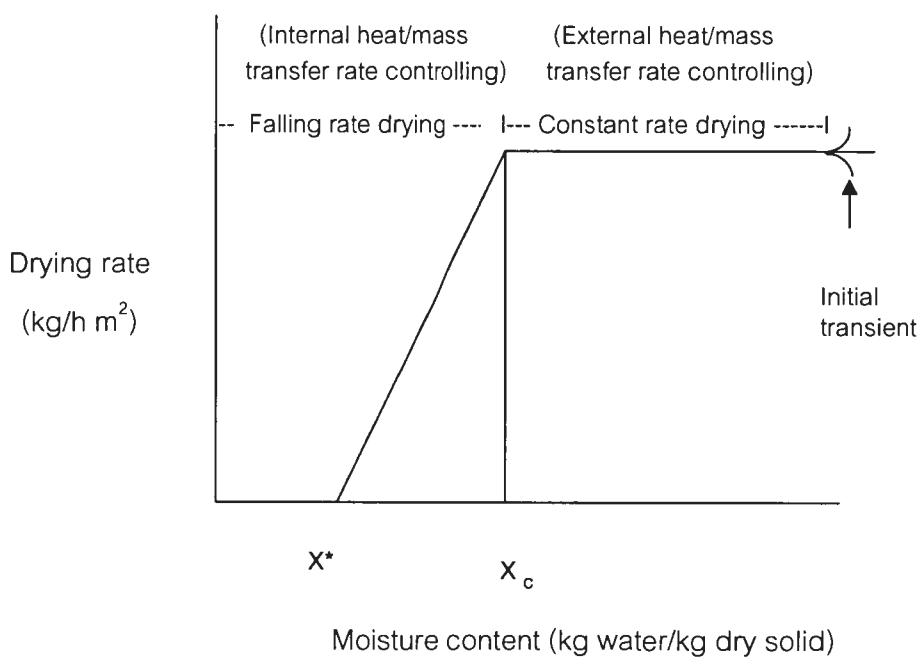
นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ดังที่กล่าวมานี้แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกและผลไม้ การกวนสารละลายออสโมติกในขณะแช่ การนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมามีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง การที่จะเลือกใช้ปัจจัยใดเป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพนั้น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

2.2.2.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ คือมีค่า $a_w$ ต่ำกว่า 0.65 ทำให้อาหารเก็บไว้ได้นาน (Mossel, 1975) กระบวนการอบแห้งของอาหารโดยทั่วไป แบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) ในช่วงแรกของการอบแห้ง ความชื้นที่บริเวณผิวหน้าอาหารจะถูกระเหยออกไปและน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารก็เคลื่อนที่ขึ้นมาทดแทนที่ผิวหน้า ซึ่งการระเหยของน้ำในช่วงนี้จะเกิดได้รวดเร็วด้วยอัตราคงที่ (รูปที่ 2.3) จากนั้นอัตราการอบแห้งจะดำเนินต่อไปจนถึงจุดปริมาณความชื้นวิกฤต (จุด $X_c$ รูปที่ 2.3) ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่ไปเป็นอัตราการอบแห้งลดลง

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) เป็นช่วงการอบแห้งหลังจากผ่านจุดปริมาณความชื้นวิกฤต ในช่วงนี้อัตราการอบแห้งจะลดลงเนื่องจากการระเหยของน้ำในชิ้นอาหารขึ้นมาที่ผิวหน้าเกิดขึ้นได้ช้าลง เพราะปริมาณน้ำอิสระ (free water) ในอาหารระเหยออกไปเกือบหมดแล้ว เหลือแต่น้ำส่วนที่เป็น bound water ซึ่งเป็นน้ำที่จับอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในอาหาร ทำให้การระเหยออกของน้ำเป็นไปได้ยากขึ้น อัตราการอบแห้งจึงลดลง (Mujumdar, 1997)




**รูปที่ 2.3** กราฟอัตราการอบแห้งภายใต้ภาวะการอบแห้งที่คงที่
**ที่มา**: ดัดแปลงจาก Mujumdar (1997)

วิธีการอบแห้งที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิส ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot-air drying) (Islam and Flink, 1982 ; Rahman and Lamb, 1990 ; Nsonzi and Ramaswamy, 1998) การอบแห้งในสภาพสุญญากาศ (vacuum drying) (Ponting et al.,

1966 ; Shi, Fito and Chiralt, 1995; Rastogi and Raghavarao, 1996) และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) (Bolin et al., 1983)

ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสแล้วยังคงมีปริมาณน้ำอยู่สูงจึงต้องนำมาอบแห้งต่อเพื่อลดปริมาณความชื้นลงจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งโดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการอบแห้งจะต้องมีความชื้นต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) และมีค่า $a_w$ น้อยกว่า 0.65 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

ปัจจัยที่มีผลต่อการอัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิส มีหลายปัจจัย ได้แก่

- ลักษณะโครงสร้างตามธรรมชาติของเนื้อผลไม้ ถ้าผลไม้มีลักษณะความเป็นรูพรุนในเนื้อผลไม้มาก การระเหยออกของน้ำก็จะเร็วกว่าผลไม้ที่มีเนื้อแข็งหรือมีความเป็นรูพรุนน้อยกว่า

- ขนาดและรูปร่างของผลไม้ ผลไม้ที่มีรูปร่างเหมือนกันแต่ขนาดต่างกัน ชิ้นที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่า อัตราการอบแห้งก็จะเร็วกว่า

- ชนิดและความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิส เนื่องจากการใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูงย่อมมีผลต่อความหนืดของสารละลายภายในชิ้นผลไม้ในระหว่างการอบแห้ง จึงมีผลต่ออัตราการอบแห้ง นอกจากนี้น้ำตาลบางชนิดมีสมบัติในการดูดความชื้น (hygroscopic) จึงจับกับน้ำไว้ได้ดี ทำให้น้ำระเหยออกได้ช้า

- อุณหภูมิที่ใช้ในการอบจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง คือ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ดีขึ้น ดังนั้นถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการอบ อัตราการอบแห้งสูง แต่บางครั้งการใช้อุณหภูมิอบที่สูงเกินไป ก็อาจทำให้ผิวหน้าของชิ้นผลไม้แห้งแตกเป็นรอยหรือแข็งกระด้าง (case hardening) ขัดขวางการระเหยออกของน้ำที่อยู่ภายในได้

Welti และคณะ (1995) ศึกษาผลของการอบแห้งมะม่วงที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 58 องศาบริกซ์ อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศา-เซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (water diffusion coefficient) เพิ่มเป็น 6.92 8.78 และ 10.06 $x10^{-10}$ ตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่ของน้ำออกสู่ภายนอกดีขึ้น จึงมีผลต่ออัตราการอบแห้ง

Sankat, Castaigne และ Maharaj (1996) ศึกษาผลของการอบแห้งชิ้นกล้วยที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้สารละลายซูโครสแปรความเข้มข้นเป็น 26 34 และ 39 องศาบริกซ์ อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นกล้วยที่อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการอบแห้งสั้นกว่าที่อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส คือใช้เวลาเพียง 30 ชั่วโมง แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลานานถึง 72 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นสุดท้ายเหลือเท่ากัน และที่อุณหภูมิในการอบแห้งเดียวกัน พบว่าในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้น 39 องศาบริกซ์ จะมีอัตราการอบแห้งช้ากว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ก็อาจมีผลต่ออัตราการอบแห้งได้ โดยที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลอัตราการอบแห้งจะลดลง

Karathanos, Kostaropoulos และ Saravacos (1995) ศึกษาผลของการอบแห้งแอปเปิ้ลสดและแอปเปิ้ลที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 15 และ 45% อุณหภูมิในการอบ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ติดตามค่าประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำ (effective water diffusion) และปริมาณความชื้นที่คงเหลือในผลิตภัณฑ์ พบว่าประสิทธิภาพการแพร่ออกของน้ำในระหว่างการอบแห้งของแอปเปิ้ลสดมีค่ามากกว่าประสิทธิภาพการแพร่ออกของน้ำในแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 15% และ 45% ตามลำดับ นั่นคือแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสจะมีอัตราการอบแห้งช้ากว่าแอปเปิ้ลสด เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในชิ้นแอปเปิ้ลไปปิดช่องว่างที่ผนังเซลล์ทำให้น้ำระเหยออกมาได้ยาก อัตราการอบแห้งจึงลดลง

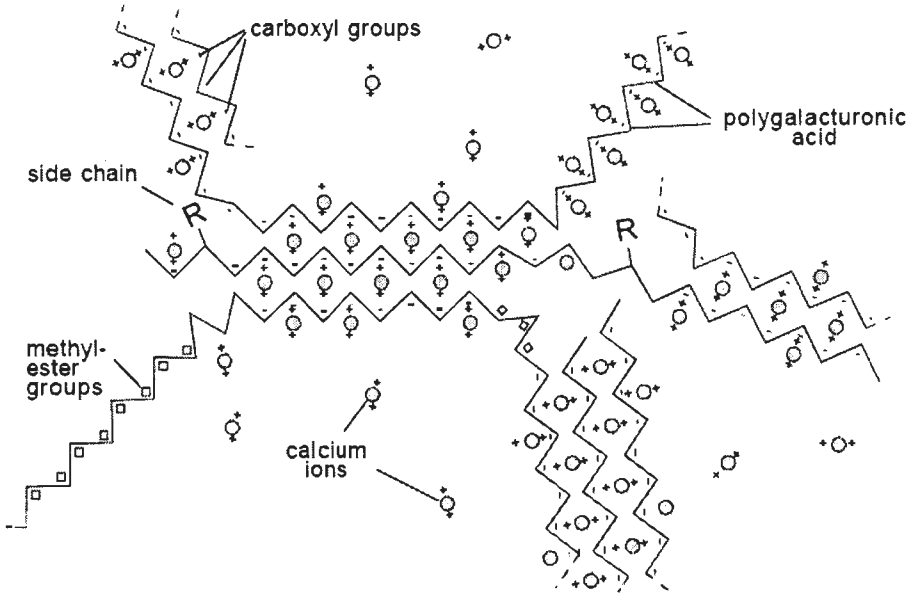
Simal และคณะ (2005) เปรียบเทียบใช้แบบจำลองแบบ Exponential และแบบจำลองแบบ Page ในการทำนายลักษณะการอบแห้งผลกีวี โดยทดลองอบแห้งผลกีวีที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋าขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยตู้อบลมร้อน โดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 30–90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น และพบว่าแบบจำลองแบบ Page สามารถทำนายลักษณะการอบแห้งผลกีวีได้ดีกว่า และพบว่าค่าคงที่การอบแห้ง (ค่าคงที่ k) ของทั้งสองแบบจำลองมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น

## 2.3 การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปหลายขั้นตอน มีทั้งการแช่ในสารละลายน้ำตาลเป็นเวลานานและการใช้ความร้อน จึงอาจทำให้คุณภาพของผลไม้ที่เป็นวัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยเฉพาะคุณภาพในด้านเนื้อสัมผัส สี และลักษณะปรากฏ การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งสามารถทำได้ในหลายขั้นตอนของกระบวนการผลิต แต่ที่นิยมทำกันโดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมคือ การปรับปรุงคุณภาพในช่วงการทำ pretreatment และการปรับปรุงคุณภาพในขั้นตอนการออสโมซิส

### 2.3.1 การปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสในช่วงการ pretreatment

เนื่องจากผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจะต้องผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลช่วงการออสโมซิสเป็นเวลานาน จึงอาจทำให้เนื้อผลไม้นิ่มลง ดังนั้นการใช้สารประกอบแคลเซียมเพื่อรักษาความคงรูปของเนื้อผลไม้จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยทั่วไปจะนิยมใช้ในรูปของเกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมแลคเตต แคลเซียมซิเตรต แคลเซียมซัลเฟต เป็นต้น (Arthey and Ashurst, 2001) ซึ่งโดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมจะใช้แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับกรดซิตริกและโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ในกระบวนการ pretreatment (Tanafranca et al., 1985; Torreggiani, 1993; Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารรักษาความคงรูปของผลิตภัณฑ์ในช่วงการ pretreatment การที่แคลเซียมคลอไรด์สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้เนื่องจากแคลเซียมอิออน ($Ca^{2+}$) สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์ของผลไม้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลบนสายของเพกตินและประจุของแคลเซียมอิออน โดยแคลเซียมอิออนจะทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสายเพกตินสายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสายเพกตินอีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า Egg-box model (รูปที่ 2.4) เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเตตซึ่งไม่ละลายน้ำจึงทำให้เนื้อผลไม้มีความแข็งกรอบและคงตัวอยู่ได้ (Luna-Gutzman, Cantwell and Barrett, 1999)




**รูปที่** 2.4 โครงสร้าง Egg-box model

**ที่มา**: Morris และคณะ (1982)

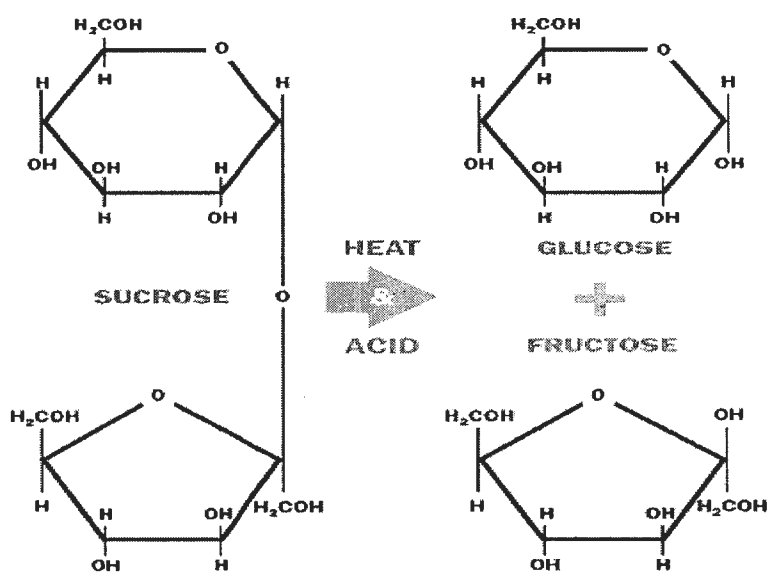
Luna-Guzman, Cantwell และ Barrett (1999) ศึกษาผลของการแช่แคนตาลูปชนิดพร้อมบริโภค (Fresh - cut) ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแคนตาลูป พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 - 5% ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นได้ และเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในชิ้นแคนตาลูปก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นและมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการแช่เพิ่มสูงขึ้นจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อแคนตาลูปมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยคือมีค่าเท่ากับ 0.28 และ 0.33 มิลลิกรัมต่อกรัมผลสด ตามลำดับ

Monsalve-Gonzalez, Barbosa-Canovas และ Cavalieri (1993) ศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในช่วงการออสโมซิสชิ้นแอปเปิ้ลในสารละลายซูโครส 52 องศาบริกซ์ อุณหภูมิการแช่ 30 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.15% ไม่มีผลต่ออัตราส่วนค่าความแข็งระหว่างแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสและแอปเปิ้ลสด ($p>0.05$) แต่การเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.30 และ 0.60% มีผลต่ออัตราส่วนค่าความแข็งระหว่างแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสและแอปเปิ้ลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่การเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.60% จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสขมมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.30%

2.3.2 การปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ

ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมักเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการเก็บรักษาที่สำคัญคือการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำตาลส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งกรอบและมีเกล็ดน้ำตาลเกาะบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการควบคุมการเกิดผลึกน้ำตาลจึงเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งการควบคุมการเกิดผลึกน้ำตาลสามารถทำได้โดยการควบคุมไม่ให้เกิดนิวเคลียสของผลึกโดยการปรับสัดส่วนของน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการออสโมซิส (Brown, 1969) ซึ่งอาจทำได้โดยการปรับสัดส่วนของน้ำตาลโมโนแซคคาร์ไรด์และน้ำตาลไดแซคคาร์ไรด์ในผลิตภัณฑ์ โดยน้ำตาลที่มีการนำมาใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรม คือ กลูโคสไซรัป และน้ำตาลอีกตัวที่นิยมใช้กันมากขึ้นคือน้ำตาลอินเวิร์ต

น้ำตาลอินเวิร์ตเป็นน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสด้วยกรดหรือการใช้เอนไซม์ได้เป็นสารประกอบกลูโคสและฟรุกโตสในสัดส่วนที่เท่ากัน (British Sugar, 2005) ดังรูปที่ 2.5 แต่ในทางการค้าน้ำตาลอินเวิร์ตโดยทั่วไปจะมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลอินเวิร์ตแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำตาลซูโครสบางส่วนที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์เป็นส่วนประกอบในสารละลาย




**รูปที่** 2.5 ไฮโดรไลซิสของน้ำตาลซูโครสด้วยกรดและความร้อนเป็นน้ำตาลอินเวิร์ต

**ที่มา**: British Sugar (2005)

น้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้น จึงช่วยชะลอการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตสามารถดูดความชื้นจากภาวะแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษาจึงลดการรวมตัวกันของโมเลกุลน้ำตาล ทำให้ผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นช้าลง จึงเป็นการยืดอายุการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น นอกจากนี้น้ำตาลอินเวิร์ตยังมีค่า $a_w$ ต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส (ตารางที่ 2.3 ) จึงมีประสิทธิภาพในการลดค่า $a_w$ ของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครส (Fennema,1996; British Sugar, 2005)

Howell และ Hartel (2001) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตเพื่อลดอัตราการเกิดผลึกใน thin sucrose film ที่ความเข้มข้น 75-80% โดยแปรระดับของน้ำตาลอินเวิร์ตเป็น 0 0.5 1 และ 5% อุณหภูมิในการอบ 50 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดผลึกของ thin sucrose film จะมีค่าลดลง และที่ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ต 5% สามารถลดการเกิดผลึกได้ดีที่สุด

**ตารางที่ 2.3** ค่า $a_w$ ของสารละลาย Humectants ต่าง ๆ ในอาหาร

| ตัวถูกละลาย | ความเข้มข้น (%w/w) | ค่า $a_w$ (โดยประมาณ) |
|---|---|---|
| ซูโครส | 58.4 | 0.90 |
| | 67.0 | 0.86 |
| กลูโคส | 47.0 | 0.82 |
| น้ำตาลอินเวิร์ต | 63.0 | 0.82 |
| ซูโครส 37.6%+น้ำตาลอินเวิร์ต 62.4% | 75.0 | 0.71 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 9.3 | 0.94 |
| | 19.1 | 0.85 |
| | 27.0 | 0.74 |
| แลคโตส | 14.5 | 0.94 |
| มอลโตส | 48.8 | 0.95 |

**ที่มา** : Brennan (1994)

อาพร ละออกอ (2547) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตทดแทนสารละลายซูโครสบางส่วนในกระบวนการออสโมซิสต่อคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา โดยแปรปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายซูโครสเป็น 0 5 10 และ 15% อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก polypropylene (PP)

เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีการเปลี่ยนแปลงในด้านปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษาและการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตจะช่วยลดการมีผลึกน้ำตาลบริเวณผิวหน้าได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

ศุภลักษณ์ ขจรศักดิ์เมธี (2548) ศึกษาผลของการใช้น้ำผึ้งทดแทนโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์บางส่วนต่อคุณภาพของฝรั่งแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา โดยแปรความเข้มข้นของน้ำผึ้งเป็น 3 ระดับคือ 0 1 และ 3% (w/v) และแปรระดับความเข้มข้นของโซเดียมเมแทไบซัลไฟต์เป็น 2 ระดับคือ 0.1 และ 0.25% (w/v) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้โซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ 0.5% (w/v) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บรรจุในถุงพลาสติก PP เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมน้ำผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงในด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัสน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เติมน้ำผึ้ง และขนาดของผลึกน้ำตาลที่เกิดระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เติมน้ำผึ้งมีขนาดเล็กกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เติมน้ำผึ้ง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำผึ้งมีน้ำตาลฟรุกโตสเป็นองค์ประกอบสูงจึงไปเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสในสารละลายออสโมติก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เติมน้ำผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาน้อยว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เติมน้ำผึ้ง

## 2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งอาจเกิดการสัมผัสกับภาวะการเปลี่ยนแปลงของภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน แสง เป็นต้น อันเป็นสาเหตุให้เกิดการเร่งหรือกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ทำให้อาหารสูญเสียคุณภาพในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ (Singh, 2000)

### 2.4.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

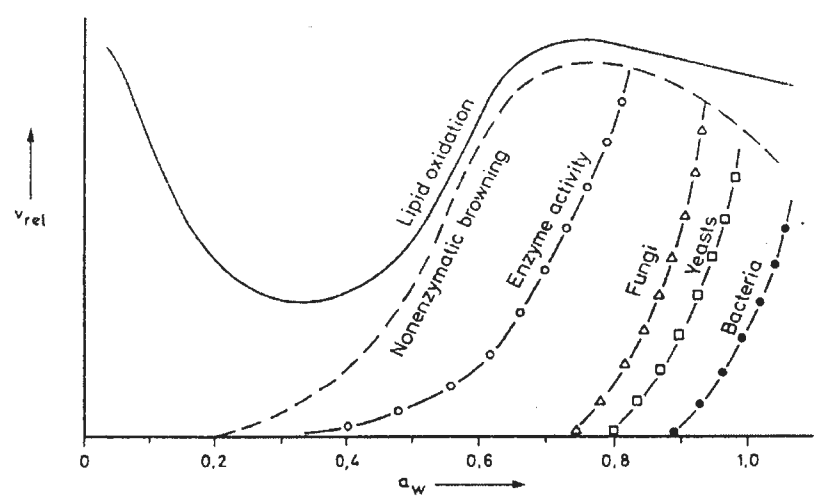
ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมักมีสีเข้มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาสูงเกินไป ซึ่งนอกจากการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์แล้ว การเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาก็เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคเช่นกัน เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำตาลจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้ง

กรอบและมีเกล็ดน้ำตาลเกาะบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น การควบคุมการเกิดผลึกน้ำตาล จึงช่วยยืดอายุการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคได้มากขึ้น

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

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่สำคัญคือ การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยจะเกิดมากในช่วงการอบแห้งและการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจัดเป็นอาหารประเภทที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate moisture food, IMF) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จะมีค่า $a_w$ ประมาณ 0.65-0.75 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ดี (รูปที่ 2.6) อีกทั้งผลิตภัณฑ์มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง จึงส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลคล้ำไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยังทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ




**รูปที่ 2.6** อัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมี

**ที่มา** : Belitz และ Grosch (1999)

Silveira, Rahman และ Buckle (1996) ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสีและการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง โดยนำสับปะรดแช่อิ่มที่ผ่านการอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 26% มาเก็บในถุง PP อุณหภูมิในการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลโดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น

2.4.3 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและเกิดการเน่าเสีย ดังนั้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจึงจำเป็นต้องควบคุมค่า $a_w$ และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำพอที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยเฉพาะเชื้อราและยีสต์ (รูปที่ 2.6) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดให้ผลไม้อบแห้งต้องปริมาณความชื้นต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) และมีค่า $a_w$ น้อยกว่า 0.65