บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 มะละกอ

มะละกอ เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุสั้น มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* จัดอยู่ในวงศ์ Caricaceae มะละกอเป็นผลไม้ที่มีแหล่งกำเนิดในประเทศแถบร้อนของอเมริกาและอเมริกากลาง ในประเทศแมกซิโกตอนใต้ (สมศักดิ์ วรรณศิริ และคณะ, 2530) สำหรับประเทศไทยมะละกอมีปลูกกันทั่วไป ได้แก่ จังหวัดราชบุรี นครปฐม ชุมพร สุราษฎร์ธานี เป็นต้น พันธุ์มะละกอที่ปลูกกันโดยทั่วไปคือ พันธุ์แขกดำและแขกนวล รองลงมา ได้แก่ เป็นพันธุ์โกโก้ สายน้ำผึ้ง (นงนุช อังยุรีกุล และสมคิด ทักษิณาวิสุทธิ์, 2546)

มะละกอพันธุ์แขกดำ เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมปลูกกันมากและเป็นที่ต้องการของตลาด ลักษณะเป็นมะละกอต้นเตี้ย มีก้านสีเขียวสั้นแข็งแรง ก้านใบส่วนมากจะตั้งตรง ใบหนากว่ามะละกอพันธุ์อื่นๆ ผลขนาดพอเหมาะทั้งส่วนหัวและส่วนท้ายผลเกือบมีขนาดเท่ากัน เปลือกหนาสีเขียวเข้ม ผลดิบหนักประมาณ 500-750 กรัมต่อผล เนื้อแน่นแข็งกรอบและมีสีแดง (ศักดิ์สิทธ์ ศรีวิชัย, 2545)

การเก็บเกี่ยวผลมะละกอ (ศักดิ์สิทธ์ ศรีวิชัย, 2545) ความแก่อ่อนของผลมะละกอที่จะเก็บเกี่ยวมีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพของมะละกอที่จะใช้ในการบริโภคและอายุการเก็บรักษา ระยะการสุกของมะละกอสามารถแบ่งออกเป็น 6 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 ระยะแก่จัดสีเขียว ผลมะละกอมีสีเขียวเข้ม เนื้อผลแน่นและแข็ง เนื้อบริเวณภายในที่ติดกับช่องว่างภายในผลและสันบริเวณปลายผลเริ่มเปลี่ยนสีออกสีชมพู แสดงให้เห็นว่าผลมะละกอเริ่มเข้าระยะสุก ในระยะนี้ไม่ควรเก็บเกี่ยวผลในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากมีผลเกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกงอมในภายหลัง

ระยะที่ 2 ระยะเริ่มเปลี่ยนสี มะละกอมีสีพื้นของผิวเป็นสีเขียวเข้ม แต่จะปรากฏแต้มสีเขียวอ่อนหรือมีสีเหลืองบริเวณเนินสันทางด้านปลายผล เนื้อในผลยังคงแข็งและแน่น โดยเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อกับผิวเปลือกจะยังคงเป็นสีเขียว ระยะนี้ถือเป็นระยะที่เหมาะสมที่จะส่งออกตลาดต่างประเทศ

ระยะที่ 3 ระยะสุกหนึ่งในสี่ ผิวผลมะละกอส่วนใหญ่ยังคงเป็นสีเขียวเข้มและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองถึงสีส้มเห็นชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณสันทางด้านปลายผลเนื้อผลภายในเฉพาะบริเวณที่ติดกับช่องว่างภายในเริ่มอ่อน เนื้อเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณด้าน

บนที่ติดกับก้านผลและบริเวณปลายผล การสุกของมะละกอในระยะนี้เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อการบริโภคภายในประเทศและเป็นระยะที่เหมาะต่อการขนส่งเพื่อการจำหน่ายปลีก

ระยะที่ 4 ระยะสุกหนึ่งในสอง ผิวผลมะละกอประมาณครึ่งหนึ่งของผลเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในขณะที่อีกครึ่งหนึ่งยังคงเป็นสีเขียวเนื้อผลแน่นหากกดด้วยนิ้วมือจะรู้สึกยุบตัวลงเล็กน้อย เนื้อภายในมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณด้านบนที่ติดกับก้านผลและบริเวณปลายผลยังคงแน่นแข็งและเป็นสีชมพูอมเหลือง เป็นระยะที่เหมาะสำหรับใช้จัดวางเพื่อการขายปลีก และเป็นระยะที่เกือบจะรับประทานได้

ระยะที่ 5 ระยะสุกสามในสี่ มะละกอมีผิวผลเป็นสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เนื้อผลนิ่ม เมื่อใช้นิ้วกดจะรู้สึกยุบตัว เนื้อบริเวณขั้วผลเริ่มนิ่ม เนื้อผลมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผลเป็นระยะที่ใช้รับประทานได้

ระยะที่ 6 ระยะสุกเต็มที่ ผิวผลมะละกอมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เนื่องจากอยู่ในภูมิอากาศของเขตร้อนถึงแม้ว่าผลจะสุกเต็มที่แล้วก็ตามแต่ผลก็มีสีเขียวปะปนอยู่ ยกเว้นกรณีที่ผลมะละกอนั้นถูกบ่มด้วยก๊าซเอทิลิน เนื้อภายในจะนิ่มและมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล ระยะนี้เป็นระยะที่เหมาะที่สุดสำหรับใช้รับประทานเป็นผลไม้สด

องค์ประกอบของมะละกอนั้นแตกต่างไปตามชนิดของมะละกอ และความอ่อนแก่ อย่างไรก็ตามมะละกอเป็นผลไม้ที่ถือได้ว่าเป็นแหล่งของสารอาหาร โดยเฉพาะวิตามินซีและวิตามินเอ (Jagtiani, Chan and Sakai, 1988) ตารางที่ 2.1 และ 2.2 แสดงองค์ประกอบของมะละกอและสารอาหารที่มีอยู่ในเนื้อมะละกอ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักของมะละกอ

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย (%)
ความชื้น (น้ำหนักเปียก)	86.8
เถ้า	0.57
โปรตีน	0.36
ไขมัน	0.06
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	9.29
เส้นใย	1.38
กรด(ในรูปกรดซิตริก)	0.10
ปริมาณเพกทิน	1.62

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rodrigues และคณะ (2003)

ตารางที่ 2.2 สารอาหารในมะละกอต่อ100 กรัมที่รับประทาน

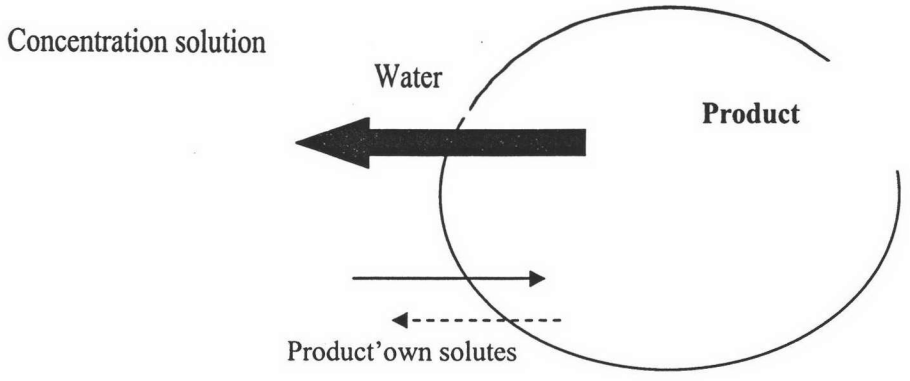
องค์ประกอบของสารอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี)	46
โปรตีน, N x6.25 (กรัม)	0.36
ไขมัน (กรัม)	0.06
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	12.8
เส้นใย (กรัม)	0.58
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	29.9
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	11.6
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.19
วิตามินเอ(มิลลิกรัม)	10.93
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.027
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.043
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.33
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	84.00

ที่มา: ดัดแปลงจาก Jagtiani, Chan และ Sakai (1988)

2.2 การทำแห้งโดยการออสโมซิส

การทำแห้งโดยการออสโมซิส เป็นการดึงน้ำออกโดยอาศัยหลักของความแตกต่างของแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) โดยการแช่เนื้อเยื่อของผักหรือผลไม้ในสารละลาย ซึ่งนิยมใช้สารละลายน้ำตาลทำให้เกิดความแตกต่างของสารละลายออสโมซิสระหว่างภายในเซลล์ของเนื้อเยื่อกับสารละลายเกิดเป็นแรงขับ (driving force) ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเนื้อเยื่อและสารละลายภายนอก โดยการถ่ายโอนมวลสารจะเคลื่อนที่สวนทางกันผ่านเยื่อเลือกผ่าน น้ำภายในเซลล์จะแพร่ออกสู่สารละลายขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายจะแพร่เข้าสู่เซลล์ของเนื้อเยื่ออาหาร และสารบางอย่างในเนื้อเยื่ออาหาร เช่น กรด วิตามิน และเกลือแร่ จะแพร่ออกสู่สารละลายแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำ การถ่ายโอนมวลสาร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (Raoult–Wack, 1994)

อัตราการถ่ายเทมวลสารขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลาย ขนาด รูปร่าง ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ อัตราส่วนของสารละลายต่อวัตถุดิบ และการกวน เป็นต้น การถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกจากนั้นจะค่อยช้าลง จนกระทั่งน้ำจากวัตถุดิบหยุดแพร่ แต่ปริมาณของแข็งจากสารละลายยังคงเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ดังนั้นผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นเพราะปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอกในกระบวนการออสโมซิส

ที่มา : Raoult–Wack (1994)

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสมีลักษณะที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแบบอื่น เพราะในกระบวนการผลิตใช้เวลาที่ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอุณหภูมิสูงในการอบแห้งน้อยกว่า ซึ่งช่วยในการรักษาสี และลดการระเหยของสารให้กลิ่นรส ส่งผลให้มีลักษณะปรากฏและคุณค่าทางโภชนาการที่ดี (Islam and Flink, 1982) เนื่องจากวิธีการออสโมซิสเป็นการดึงน้ำออกก่อนการอบแห้ง แม้ว่าในระหว่างการทำแห้งมีการสูญเสียกรดและน้ำตาลในผลไม้บางส่วน แต่การทำออสโมซิสสามารถปรับปรุงรสชาติ โดยมีสารละลายน้ำตาลและกรดที่เข้าไประหว่างการออสโมซิส (Torreggiani and Bertolo, 2001)

2.3 การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งสามารถแบ่งขั้นตอนการผลิตได้ 3 ขั้นตอนใหญ่

2.3.1 การเลือกและการเตรียมวัตถุดิบ

การเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดี ลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาพิจารณาในการเลือก อาทิ สายพันธุ์ ระดับความสุก ขนาด และรูปร่าง โดยลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตในขั้นกระบวนการออสโมซิส ขั้นตอนการอบแห้ง และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เช่น โครงสร้างของเซลล์ เมมเบรนที่แตกต่างกันมีผลต่อการแพร่ผ่านของสารละลายในช่วงการออสโมซิส (Lazarides, 2001) ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลไม้ที่มีความสุกมากจะมีสีเข้มกว่าผลไม้ที่มีความสุกน้อยกว่า

การจัดการกับวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส (pretreatment) มีทั้งการใช้สารเคมีและการใช้ความร้อน เพื่อช่วยในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และเพิ่มลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี

ปัญหาที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งคือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ซึ่งปฏิกิริยาแบบไม่อาศัยเอนไซม์นี้สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ปฏิกิริยามายลาร์ด (Maillard) คาราเมไลเซชั่น (caramelization) และปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid oxidation) โดยในขั้นตอนของการ pretreatment สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลโดยการใช้ความร้อนและสารเคมี

การใช้ความร้อน จุดประสงค์ของการใช้ความร้อนในกระบวนการออสโมซิส เป็นการช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ เนื่องจากความร้อนทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเสียสภาพตามธรรมชาติไม่สามารถเร่งปฏิกริยาได้จึงไม่เกิดสีน้ำตาล โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase: PPO) จากผักผลไม้ต่างชนิดก็จะมีเสถียรภาพต่อความร้อนแตกต่างกัน ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนจึงแตกต่างกัน นอกจากนี้แล้วความร้อนทำให้ลักษณะเนื้อผลไม้มีลักษณะนิ่มซึ่งง่ายต่อการเคลื่อนที่ของน้ำและสารละลายในช่วงการออสโมซิส เนื่องจากช่วยกำจัดความต้านทานการเคลื่อนที่ของน้ำในเซลล์เมมเบรนและผนังเซลล์ (Nieto, Castro and Alzamora, 2001)

การใช้สารเคมี การจัดการกับผลไม้ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส โดยส่วนใหญ่จะเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ผลไม้หลายชนิดเมื่อผ่านการตัดแต่งแล้วจะเกิดการเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ นอกจากนี้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลยังคงเกิดขึ้นในขั้นตอนการอบแห้งด้วยสารเคมีที่ใช้มีหลายชนิดเช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กรดแอสคอร์บิค กรดซิตริก และ antibrowning agent จากธรรมชาติ

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเป็นสารที่นิยมใช้ทั่วไป แต่มีการใช้ในปริมาณที่จำกัดเพราะมีผลเสียต่อร่างกาย สารประกอบซัลไฟต์อยู่ในรูปของโซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมและโปแตสเซียมไบซัลไฟต์และเมตาไบซัลไฟต์มีผลในการป้องกันปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งแบบใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ ช่วยในการฟอกสี เป็น antioxidant เป็นต้น (Sapers, 1993)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และสารประกอบซัลไฟต์เมื่อละลายน้ำจะมีสมดุลซึ่งขึ้นกับ pH โดยซัลไฟต์จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อ pH น้อยกว่า 4 การแตกตัวของสารประกอบซัลไฟต์ ตามสมการดังนี้

$$H_2O + SO_2 \longleftrightarrow H_2SO_3$$

$$[H_2SO_3] \longleftrightarrow HSO_3^- + H^+$$

$$HSO_3^- + H^+ \longleftrightarrow SO_3^- + 2H^+$$

การขัดขวางมิให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard จากการที่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปทำปฏิกริยากับกลุ่มแอลดีไฮด์ในน้ำตาลรีดิวซ์ ดังนั้นจึงไม่มีหมู่แอลดีไฮด์อิสระไปรวมกลุ่มกับอะมิโนได้ ดังสมการ

$$HSO_3^- + R\text{-}\underset{\displaystyle O}{\overset{\displaystyle \|}{C}}\text{-}H \longleftrightarrow R - \underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle OH}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} - SO_3^-$$

จากสมการ bisulfite (HSO_3^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่แอลดีไฮด์เกิดเป็น hydroxysulfonate ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในรูปคงตัวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกับหมู่อะมิโนได้ ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงถูกยับยั้ง (Davison and Juneja, 1990)

กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยสามารถรีดิวซ์ควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารพอลีฟีนอลด้วยการกระทำของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิมก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล

นอกจากนี้พบว่ามีการใช้กรดซิตริกซึ่งมีสมบัติเป็น antioxidant เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและพบว่ามีการใช้ antibrowning agent จากธรรมชาติ เช่น น้ำผึ้ง น้ำสับปะรด เนื่องจากสารเหล่านี้มีสารประกอบ antioxidant บางชนิดที่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้สูง (Chen et al., 2000)

2.3.2 กระบวนการออสโมซิส

ในกระบวนการออสโมซิสมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายโอนมวลสารในระหว่างการออสโมซิสและปัจจัยเหล่านี้ยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปัจจัยดังกล่าวได้แก่

2.3.2.1 ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลาย

Lerici, Mastrola และ Coli (1988) ศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายระหว่างกระบวนการออสโมซิสที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ weight reduction ของแอปเปิ้ลและแครอท ที่แช่ใน corn hydrolyzed syrup 70 บริกซ์ เป็นเวลาต่างกัน โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อค่า weight reduction การทดลองพบว่าเวลาและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับค่า weight reduction คือ เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานขึ้นในการออสโมซิส จะช่วยเร่งการออสโมซิสให้เร็วขึ้นทำให้ค่า weight reduction เพิ่มสูงขึ้นด้วยจาก 10% เป็น 30 % ในแอปเปิ้ลและ 15% เป็น 45% ในแครอท

Rahman และ Lamb (1990) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายที่มีผลต่อค่า water loss และ solid gain โดยทดลองใช้แกนสับปะรดหั่นเป็นชิ้นมีความหนา 6.5 mm. แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสแปรความเข้มข้น 40-70 % (w/v) และอุณหภูมิของสารละลายระหว่าง 20-80 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 30 องศาเซลเซียสเป็น 70 องศาเซลเซียส ค่า water loss เพิ่มสูงขึ้นและค่า solid gain ก็เพิ่มสูงขึ้นแต่น้อยกว่าค่า water loss เนื่องจากในการแพร่ผ่านเซลล์เมมเบรน การแพร่ออกของน้ำจะง่ายกว่าการแพร่เข้าของสารละลายเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ และพบว่า ค่า solid gain เพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วมีแนวโน้มลดลงโดยอธิบายเหตุผลว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผนังเซลล์ที่มีส่วนประกอบเพกทินซึ่งมีสมบัติในการสร้างเจล ทำให้ขัดขวางการแพร่เข้าของของแข็ง อัตราการแพร่เข้าจึงลดลง

2.3.2.2 การใช้ความดันสุญญากาศ

Rostogi และ คณะ (2002) เสนอวิธีการเพิ่มการถ่ายเทมวลระหว่างการออสโมซิสโดยการประยุกต์ใช้ความดันสูง (high hydrostatic pressure) เช่น การประยุกต์ใช้ ultrasound ระหว่างการออสโมซิส และการประยุกต์ใช้สภาวะสุญญากาศในกระบวนการออสโมซิส ซึ่งวิธีการนี้ทำให้เซลล์ถูกทำลายส่งผลให้ช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสเมื่อเทียบกับภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ

Fito (1994) อธิบายว่าการออสโมซิสแบบใช้สภาวะสุญญากาศขึ้นกับความดันและการไหลแบบแคปิลารี โดยอธิบายเกี่ยวกับความเป็นรูพรุนของผลไม้ซึ่งภายในรูเหล่านี้จะมีแก๊สอยู่

และสามารถขับออกโดยใช้ความดันต่ำในสภาวะสุญญากาศระหว่างกระบวนการออสโมซิส การลดลงของความดันทำให้แก๊ซแพร่ออกจากส่วนที่เป็นรูพรุนของผลไม้ จากนั้นส่วนที่เป็นสารละลายออสโมซิสจะเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการแพร่เร็วขึ้น

นอกจากนี้ Shi, Fito และ Chiralt (1995) ยังได้ศึกษาอิทธิพลของความเป็นรูพรุนของผลไม้ต่อการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิสที่มีผลต่อค่า water loss ในผลไม้ 3 ชนิดคือ apricot สับปะรด และสตรอเบอรี่ โดยที่ค่าความเป็นรูพรุนหรือ ค่า porosity coefficient (ε_o) คือค่าสัดส่วนของปริมาณแก๊ซที่อยู่ในเนื้อเยื่อของผลไม้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาตรของเนื้อเยื่อผลไม้ทั้งหมด โดยสับปะรด apricot และสตรอเบอรี่ มีค่าความเป็นรูพรุนเป็น 8-9%, 5-6% และ 2-3% ตามลำดับ การทดลองนี้สรุปได้ว่าสภาวะสุญญากาศส่งผลให้เพิ่มการถ่ายเทมวลของน้ำ แต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาล การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศนี้มีประสิทธิภาพมากต่อสับปะรด เนื่องจากสับปะรดมีความเป็นรูพรุนสูงซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความเป็นรูพรุนของผลไม้มีความเหมาะสมต่อการใช้สภาวะสุญญากาศในการออสโมซิส

2.3.2.3 สมบัติของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและสารที่ใช้ร่วม

การเลือกสารละลายที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะรสชาติที่ให้กับผลิตภัณฑ์ ต้นทุนของสารละลาย ความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลของสารละลาย เป็นต้น

Lerici และคณะ (1985) ศึกษาผลของสารละลายที่แตกต่างกันต่อกระบวนการออโมซิสโดยแช่แอปเปิ้ลในสารละลายที่แตกต่างกันคือ สารละลายซูโครส 59 บริกซ์ สารละลายฟรุกโตส 60 บริกซ์ สารละลาย corn hydrolyzed starch syrup (CHSS) F 70 บริกซ์ และ CHSS G 68 บริกซ์ สารละลายกลูโคสรวมกับสารละลายฟรุกโตส 66 บริกซ์ และสารละลายกลูโคส 51 บริกซ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออสโมซิส 16 ชั่วโมง โดยใช้ CHSS G มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เนื่องจากมีการแพร่เข้าของปริมาณของแข็งน้อยที่สุด ในขณะที่ค่า water loss มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่น เนื่องจาก CHSS G มีปริมาณพอลีแซคคาไรด์สูงถึง 20% จึงมีการแพร่เข้าของสารละลายน้อย

Rodrigues, Cunha และ Hubinger (2003) ศึกษาผลของการเติมกรดแลคติก แคลเซียมคลอไรด์ และ โซเดียมแลคเทต ในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันในการออสโมซิสมะละกอ ผลการทดลองพบว่าถ้าค่า Aw ของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสมีค่าน้อยจะส่งผลให้ค่า Aw ของมะละกอลดลงเร็วที่สุด แต่ทั้งนี้การลดลงยังขึ้นกับผลของอุณหภูมิ

และความเข้มข้นของสารละลายอีกด้วย ส่วนการเติมแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยในการส่งเสริมการเพิ่มเข้าของสารละลายซูโครสในเนื้อมะละกอได้ดี

2.3.2.4 การนำสารละลายมาใช้ซ้ำ

กระบวนการออสโมซิสจำเป็นต้องมีการจัดการกับสารละลายซึ่งผ่านการแช่แล้วอย่างเหมาะสม เพื่อลดต้นทุนการผลิตและลดปริมาณของเสียที่อาจเกิดกับสิ่งแวดล้อม จึงมีการนำสารละลายมาใช้ใหม่แต่การนำสารละลายมาใช้ใหม่จำเป็นต้องมีการศึกษาลักษณะของสารละลายนั้น เพื่อจะไม่ให้มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์

Valdez-Fragoso และ คณะ (2002) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำเชื่อมมาใช้ซ้ำโดยทดลองใช้น้ำเชื่อมซ้ำจากการออสโมซิสแอปเปิ้ลเป็นจำนวน 20 ครั้ง น้ำเชื่อมที่ผ่านการใช้แล้วนำมากรองและผ่านเครื่องทำระเหย (evaporator) เพื่อทำให้เข้มข้น การทดลองรักษาอุณหภูมิระหว่างการออสโมซิสที่ 50±1.5 องศาเซลเซียส และรักษาความเข้มข้นของสารละลายซึ่งพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำสารละลายมาใช้ใหม่อย่างน้อย 20 ชุดการทดลอง โดยผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสยังคงมีคุณภาพสูงเป็นที่ยอมรับได้

2.3.3 การทำแห้ง

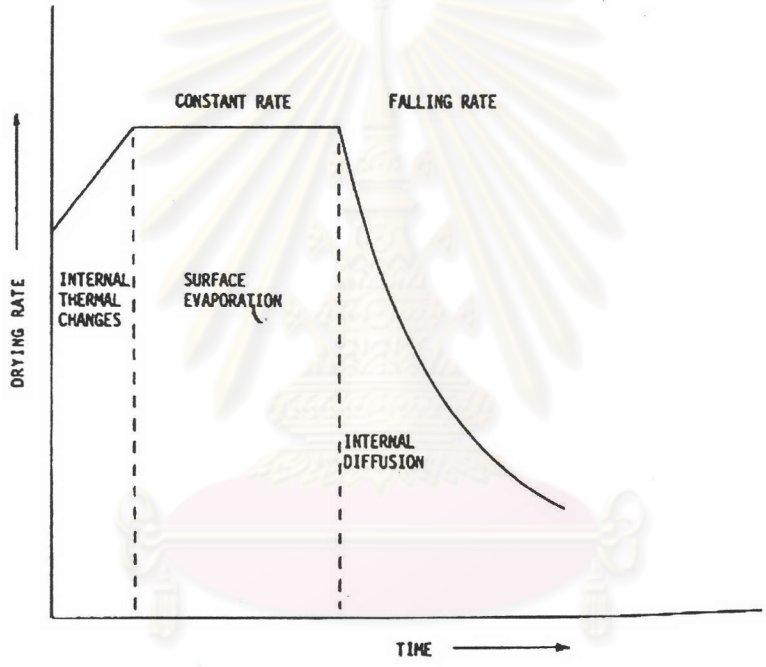
2.3.3.1 นิยามการทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) คือการลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โดยมีค่า water activity (Aw) ต่ำกว่า 0.65 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน (Mossel, 1975)

การทำแห้งเป็นการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร โดยการเคลื่อนที่ของน้ำออกมาที่ผิวอาหารมี 2 วิธี คือ การเคลื่อนที่ด้วยแรงผ่านช่องแคบ (capillary force) และการเคลื่อนที่โดยการแพร่ (diffusion) การเคลื่อนที่ด้วยแรงผ่านช่องแคบนั้นเป็นการเคลื่อนที่ในอาหารที่มีเซลล์โปร่ง มีช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องกันเป็นช่องแคบเกิดแรงดันของน้ำขึ้นมาตามท่อ การเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้สะดวกรวดร็ว แต่จะหยุดเมื่อน้ำในช่องแคบขาดตอนลง ส่วนการเคลื่อนที่ด้วยการแพร่เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเซลล์ พบในอาหารที่มีเนื้อแน่นไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ต่อเนื่องเป็นช่องแคบ หรือเกิดในอาหารที่อบแห้งไประยะหนึ่งที่แรงผ่านช่องแคบหมดไปแล้วน้ำจึงเคลื่อนที่ได้ช้า (สุดนชื่น ศรีงาม, 2543)

2.3.3.2 กราฟอัตราการทำแห้ง (drying cruve)

การทำแห้งแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และช่วงอัตราการทำแห้งแบบลดลง ช่วงอัตราการทำแห้งแบบคงที่ น้ำจะเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอของน้ำที่ผิวของอาหาร จึงทำให้ผิวอาหารเปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ ส่วนช่วงอัตราการทำแห้งลดลงจะเกิดขึ้นเมื่อการไหลผ่านช่องแคบหมดไป น้ำต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนมาที่ผิวอาหารไม่เพียงพอต่ออัตราการระเหย ผิวอาหารจึงแห้ง การระเหยเกิดขึ้นช้าลงอัตราการทำแห้งจึงลดลง (Somogyi and Luh, 1975) กราฟอัตราการทำแห้งแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟอัตราการทำแห้ง

ที่มา: Somogyi และ Luh (1975)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการทำแห้งได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร เช่น อาหารที่มีลักษณะความเป็นเนื้อโปร่งจะมีการระเหยออกของน้ำได้เร็วกว่าอาหารที่มีช่องว่างภายในน้อยกว่า ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก ตัวอย่างเช่นรูปร่างเหมือนกันแต่ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ตำแหน่งในตู้อบที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือ

สัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำน้ำย่อมระเหยได้ดีกว่า อุณหภูมิของอากาศร้อนภายในตู้ที่อากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น การเคลื่อนย้ายของไอน้ำเกิดขึ้นได้เต็มที่ เนื่องจากความเร็วลมจะทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในตู้อบ อากาศจึงสัมผัสกับอาหารได้ดี (Wolf et al., 2004)

Welti และ คณะ (1995) ศึกษาผลของการอบแห้งมะม่วงที่ผ่านการออสโมซิสโดยใช้สารละลายซูโครส 58 บริกซ์ อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงการทำแห้งคงที่ นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำออกจากผิวของอาหารได้ดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

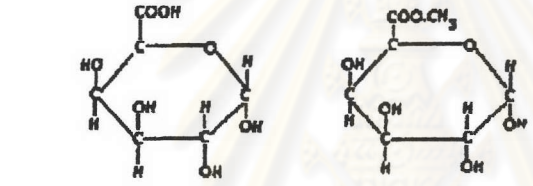
Karathanos, Kostaropoulos และ Saravacos (1995) ศึกษาผลของการอบแห้งแอปเปิ้ลสดและแอปเปิ้ลที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสที่ 15% และ 45 % น้ำตาลซูโครส โดยอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ติดตามผลของค่า effective water diffusion และปริมาณความชื้นที่คงเหลือ พบว่าประสิทธิภาพการแพร่ออกของน้ำในแอปเปิ้ลสดในระหว่างการอบแห้งมีค่ามากกว่าการแพร่ออกของน้ำในแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่ 15% และ 45% ตามลำดับ โดยอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณความชื้นของตัวอย่างลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่เข้าไปทำให้ไปปิดช่องว่างที่อยู่ภายในเซลล์ อัตราการอบแห้งจึงลดลง อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสยังคงช่วยรักษากลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

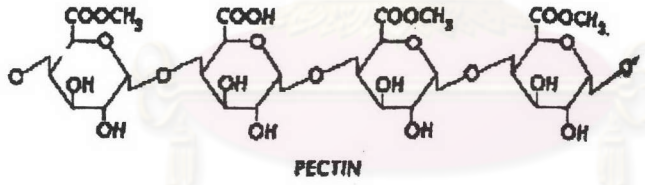
2.4.1 ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

แคลเซียมคลอไรด์ เป็นสารที่ใช้ในการให้ความคงตัวในกระบวนการผลิตผักและผลไม้แปรรูปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสคงตัวและคงรูปดีขึ้น ผลจากการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในผักและผลไม้ช่วยลดการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว ช่วยควบคุมการคงรูปของเซลล์ที่ถูกทำลาย และช่วยเพิ่มปริมาณแคลเซียมเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการ (Stanley et al.,1995)

จุดประสงค์หลักของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในกระบวนการ pretreatment ของการทำแห้ง คือการที่แคลเซียมช่วยรักษาเนื้อสัมผัสของผลไม้ให้คงรูป โดยในโครงสร้างของเซลล์ผลไม้มีสารประกอบพวกเพกทิน (pectin) ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วย กรดกาแลกทูโรนิค (galacturonic acid) ต่อกันเป็นสายยาว (รูปที่ 2.3 ก และ ข) ส่งผลให้เนื้อผลไม้มีความแข็งแรง เมื่อผลไม้ยังดิบเพกทินอยู่ในรูปที่ซับซ้อนและไม่ละลายน้ำที่เรียกว่า โปรโตเพกทิน (protopectin) เมื่อผลไม้เริ่มสุกโปรโตเพกทินจะสลายให้เป็นเพกทินสายสั้นลงซึ่งละลายน้ำได้ โดยการทำงานของเอนไซม์เพกทินเมททิลเอสเทอเรส (PME) กล่าวคือเอนไซม์เพกทินเอสเทอเรสจะดึงหมู่เมทธิลออกจากโมเลกุลของเพกทิน ได้เป็นกรดเพกติกในช่วงนี้ถ้าผลไม้แช่อยู่และสารละลายเกลือแคลเซียมจะเกิดการแทรกซึมของแคลเซียมอิออนเข้าไปในเนื้อผลไม้ และแคลเซียมอิออนจะไปจับกับโมเลกุลของเพกทินที่ดึงหมู่เมทธิลออกแล้วได้เป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเทต (รูปที่ 2.4) ทำให้รูปร่างผลไม้คงรูปอยู่ได้ (Bourne, 1976)



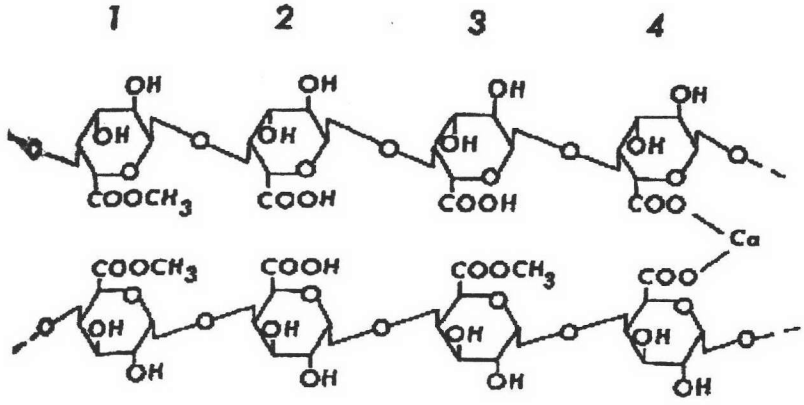
ก



ข

รูปที่ 2.3 ก โมโนเมอร์ของกรดกาแลคตูโรนิคและหมู่เมทธิลเอสเทอร์
ข ส่วนของโมเลกุลเพกทิน
ที่มา: Bourne (1976)

Luna-Guzman, Cantwell และ Barrett (1999) ศึกษาผลของการใช้แคลเซียม-คลอไรด์ในช่วยแช่ในแคนตาลูปหลังการตัดแต่ง (fresh-cut) พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1-5% ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้นระหว่างการเก็บที่ 5 องศาเซลเซียส และพบว่าเมื่อแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2.5% ที่อุณหภูมิ 20 40 และ 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมซึมเข้าในเนื้อแคนตาลูปมากขึ้น



รูปที่ 2.4 การเกิด cross linking ระหว่างโมเลกุลเพกทินด้วย calcium salt bridge

ที่มา: Bourne (1976)

Valle, Aranguiz และ Leon (1999) รายงานว่าผลของการแช่แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2% ร่วมกับการใช้สภาวะสุญญากาศที่ 9.3 kPa ในช่วงการ pretreatment ของแอปเปิ้ล เปรียบเทียบกับการแช่แอปเปิ้ลในสภาวะปกติ ส่งผลให้ในช่วงการออสโมซิสมีค่า solid gain สูงจาก 11.4% เป็น 37.4% และยังส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นอีกด้วย

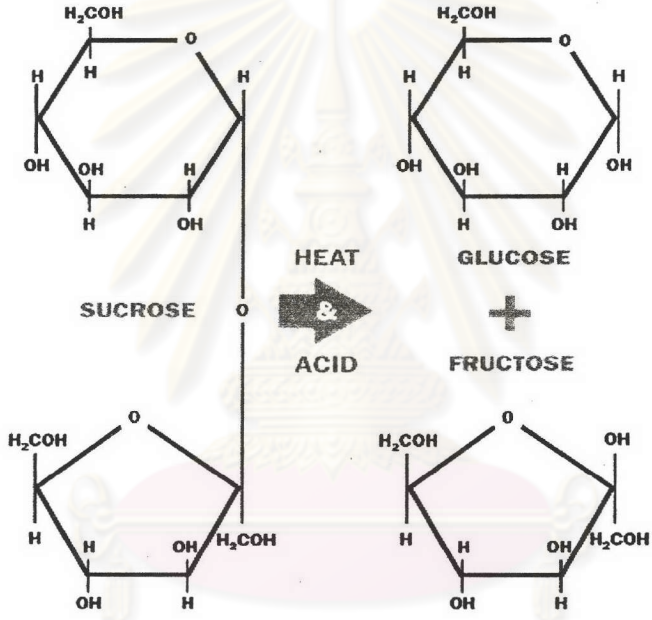
Quintero-Ramos และคณะ (2003) ศึกษาการซึมผ่านของปริมาณแคลเซียมของชิ้นแครอท โดยแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์แปรความเข้มข้น 0.3 0.6 และ 0.9 M ที่อุณหภูมิ 65 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าค่า diffusion coefficient ของแคลเซียมอิออนในแครอทเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการแช่เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่า water diffusion coefficient ให้สูงขึ้นตามความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

2.4.2 ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

น้ำตาลอินเวิร์ต (invert sugar) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสด้วยกรดหรือการใช้เอนไซม์กลายเป็นสารประกอบกลูโคสและฟรุกโตสในปริมาณที่เท่ากัน (Moreau et al., 2002) การเรียกน้ำตาลชนิดนี้ว่าน้ำตาลอินเวิร์ต เนื่องจากจะมีการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ในทางตรงกันข้ามคือ ซูโครสจะมีค่า $[\alpha]^{20}$ เป็น $+66.5^{\circ}$ แต่เมื่อถูกไฮโดรไลซ์จะได้กูลโคสและฟรุกโตส กลูโคสจะมีค่า $[\alpha]^{20}$ เป็น $+52.7^{\circ}$ และฟรุกโตสมีค่า $[\alpha]^{20}$ เป็น -92.4° ดังนั้นน้ำตาลอินเวิร์ตจึงมีค่า $[\alpha]^{20}$ เป็น -39.7° ซึ่งจะบิดระนาบของแสงโพลาไรซ์ในทางตรงข้ามกันน้ำตาลซูโครส (Shallenberger, 1982) รูปแบบจำลองการไฮโดรไลซิสของน้ำตาลซูโครสแสดงในแสดงในรูปที่ 2.5

สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลอินเวิร์ต คือ สีน้ำตาลอ่อน ใส โปร่งแสง ไม่มีสารแขวนลอยเจือปน ความหวานมากกว่าน้ำตาล 1.2 เท่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 97% และ pH 6.2 (NRDC, 2003) นอกจากนี้การเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลอินเวิร์ตยังขึ้นกับความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิอีกด้วย (Brown, 1969)

การเติมน้ำตาลอินเวิร์ตในกระบวนการออสโมซิส ส่วนใหญ่จะช่วยป้องกันการเกิดผลึกในน้ำเชื่อม และช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลไม้แช่อิ่มไม่แห้งและแข็งจนเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความโปร่งใสและยังช่วยเพิ่มน้ำหนักให้แก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วย แต่หากมีน้ำตาลชนิดนี้มากเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวเยิ้ม ติดมือ อบไม่แห้งและอายุการเก็บสั้นลง (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, 2538)



รูปที่ 2.5 ไฮโดรไลซิสของน้ำตาลซูโครสด้วยกรดและความร้อนเป็นน้ำตาลอินเวิร์ต
ที่มา: British Sugar (2004)

สมบัติของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง น้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติหลายประการเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีคุณภาพที่ดี สมบัติดังกล่าวได้แก่ สมบัติการดูดความชื้น สมบัติควบคุมการเกิดผลึก สมบัติในการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (British Sugar, 2004)

สมบัติดูดความชื้น (Humectancy) น้ำตาลอินเวอร์ตมีความสามารถในการดูดน้ำได้ดี ด้วยเหตุผลนี้น้ำตาลอินเวิร์ตส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้น สามารถยืดอายุการเก็บได้มากขึ้น

สมบัติควบคุมการเกิดผลึก (Crystallisation control) การควบคุมการเกิดผลึกในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งถือว่ามีความสำคัญต่อคุณภาพมาก เพราะหากผลิตภัณฑ์เกิดผลึกน้ำตาลส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งกรอบและมีเกล็ดน้ำตาลเกาะบริเวณรอบๆ โดยมีลักษณะสีขาวคล้ายเชื้อราซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นการควบคุมการเกิดผลึกจึงช่วยยืดอายุการเก็บอีกด้วย

สมบัติในการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity reduction) ค่า Aw เป็นดัชนีที่ใช้บ่งบอกถึงอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หลายชนิด ถ้าค่า Aw สูงผลิตภัณฑ์ก็ง่ายต่อการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ น้ำตาลอินเวิร์ตมีค่า Aw ต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส ดังนั้นจึงเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมเสียได้ดี (preservative effect) ส่งผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภุณฑ์

Howell และ Hartel (2001) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตเพื่อลดอัตราการเกิดผลึกใน thin sucrose film ที่ความเข้มข้น 75-80% อุณหภูมิในการอบ 50 และ 70 องศาเซลเซียส โดยแปรระดับของน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมเป็น 0 0.5 1 และ 5% พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ต สามารถลดอัตราการเกิดผลึกของ thin sucrose film ได้ และที่อินเวิร์ต 5% สามารถลดการเกิดผลึกได้ดีที่สุด

2.5 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

ในระหว่างการเก็บรักษา ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งอาจสัมผัสกับภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ออกซิเจน และแสง ซึ่งมีผลกระตุ้นปฏิกิริยาต่างๆ ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพด้านสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ (Singh, 2000)

Silveira และคณะ (1996) ทดลองเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์สับปะรดที่ผ่านการออส-โมซิสด้วยซูโครส 50-75 บริกซ์ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ขั้นตอนการทดลองคือหลังจากการออสโมซิสไปแล้ว 5 ชั่วโมงนำสับปะรดไปแช่ใน potassium metabisulfite ความเข้มข้น 0.25% w/v เป็นเวลา 6 นาที แล้วนำไปจุ่มในกรดซิตริก จากนั้นทำการออสโมซิสต่อจนครบ 20 ชั่วโมง หลังเสร็จสิ้นกระบวนการออสโมซิสแบ่งสับปะรดเป็น 2 ชุดนำไปอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศา-เซลเซียส และอบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บในถุง polylpropylene ที่อุณหภูมิ –27 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-4 เดือน หลังการเก็บรักษา พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดอบแห้งแบบลมร้อนและแบบสุญญากาศมีค่าใกล้เคียงกันโดยค่า pH ค่ากรดทั้งหมด ค่าน้ำตาลทั้งหมด ค่าน้ำตาลรีดิวซ์และ ค่า Aw เปลี่ยนแปลงน้อยมากที่เวลาการเก็บต่างกัน

ยกเว้นค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งลดลงมากที่อุณหภูมิการเก็บที่สูงขึ้นโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และลดลงมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะระเหยเมื่ออุณหภูมิการเก็บสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย