# บทที่ 2

# วารสารปริทัศน์

## 2.1 มะละกอ

มะละกอเป็นพืชล้มลุกที่มีอายุสั้น มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* L. จัดอยู่ในวงศ์ Caricaceae มีแหล่งกำเนิดในประเทศแถบร้อนและอเมริกากลาง แหล่งปลูกมะละกอที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดราชบุรี นครปฐม ชุมพร สุราษฎร์ธานี เป็นต้น พันธุ์มะละกอที่ปลูกกันโดยทั่วไป คือ พันธุ์แขกดำและแขกนวล รองลงมา ได้แก่ พันธุ์โกโก้ สายน้ำผึ้ง (นงนุช อังยุรีกุล และ สมคิด ทักษิณาวิสุทธิ์, 2546)

มะละกอเป็นผลไม้เมืองร้อนที่คนไทยรู้จักกันเป็นอย่างดีและเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย นิยมนำมาบริโภคทั้งในรูปของผลดิบและผลสุก อุดมไปด้วยวิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี ธาตุเหล็ก แคลเซียม ฟอสฟอรัส และมีเส้นใยอาหารที่ช่วยให้ระบบขับถ่ายของร่างกายดีขึ้น (ไพบูลย์ จันทร์วิจิตร, 2547) นอกจากจะบริโภคภายในประเทศแล้วยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศทั้งในรูปของมะละกอสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ด้วยเหตุผลดังกล่าวประกอบกับมะละกอเป็นพืชที่ปลูกง่าย เจริญเติบโตได้ดีในทุกสภาพดินฟ้าอากาศและให้ผลผลิตตลอดปี จึงทำให้เกษตรกรนิยมปลูกมะละกอเพื่อจำหน่ายเป็นการค้าและบริโภคในครัวเรือนกันมากขึ้น

พันธุ์มะละกอที่ปลูกในประเทศไทยในระยะแรก ๆ เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ต่อมาได้มีการปลูกมะละกอกันอย่างแพร่หลายและมีการคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะดีและเหมาะสมมาปลูกจนกลายเป็นพันธุ์มะละกอของไทยหลายพันธุ์ด้วยกัน ได้แก่ พันธุ์แขกดำ พันธุ์แขกนวล พันธุ์สายน้ำผึ้ง พันธุ์โกโก้ พันธุ์ปากช่อง1 พันธุ์แขกดำท่าพระ พันธุ์แขกดำศรีสะเกษ พันธุ์พิจิตร1 พันธุ์พื้นเมือง เป็นต้น โดยมะละกอพันธุ์แขกดำเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก นิยมรับประทานกันทั้งผลดิบและผลสุก และเป็นที่ต้องการของตลาดเพราะให้ผลผลิตสูง มีลักษณะทรงพุ่มเตี้ย ลำต้นแข็งแรง สูงประมาณ 2-4 เมตร ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 1.2-1.5 กิโลกรัม ผลมีลักษณะเป็นทรงกระบอก คือ ส่วนหัวและส่วนท้ายผลมีขนาดเกือบเท่ากัน ผลยาวประมาณ 25-35 เซนติเมตร เนื้อแน่นละเอียด ผลดิบเนื้อจะกรอบ ผลสุกผิวมีสีส้มอมแดง เนื้อมีสีแดงเข้ม รสชาติหวานอร่อย (ไพบูลย์ จันทร์วิจิตร, 2547)

การเก็บเกี่ยวผลมะละกอถือเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากความแก่อ่อนของผลที่จะเก็บเกี่ยวมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของมะละกอที่จะนำมาบริโภค ระยะการสุกของมะละกอสามารถแบ่งได้ 6 ระยะดังนี้ (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2545)

1. ระยะแก่จัด ผิวผลยังมีสีเขียวเข้ม เนื้อภายในบริเวณที่ติดกับโพรงและส้นบริเวณปลายผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพู

2. ระยะเริ่มเปลี่ยนสี ผิวผลมีสีเขียวเข้ม และเริ่มปรากฏแต้มสีเหลืองบริเวณส้นปลายผล เนื้อเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ในระยะนี้เป็นระยะที่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออก

3. ระยะสุกหนึ่งในสี่ ผิวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มเด่นชัด โดยเฉพาะบริเวณเนินส้นทางด้านปลายผล เนื้อภายในผลบริเวณที่ติดกับโพรงเริ่มอ่อนนิ่ม เนื้อเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั่วทั้งผล ระยะนี้เป็นระยะที่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อบริโภคภายในประเทศและขนส่งเพื่อการจำหน่ายปลีก

4. ระยะสุกหนึ่งในสอง ผิวผลประมาณครึ่งหนึ่งเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในขณะที่อีกครึ่งหนึ่งยังคงเป็นสีเขียวอยู่ เนื้อภายในผลมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล เป็นระยะที่เหมาะสำหรับจัดวางเพื่อการจำหน่ายปลีก

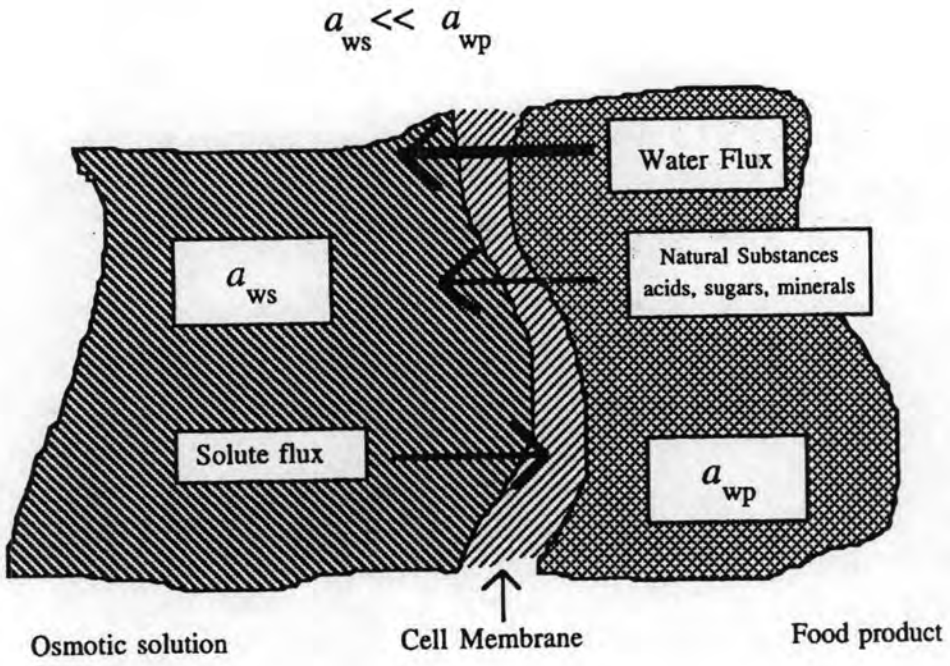
5. ระยะสุกสามในสี่ ผิวผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เนื้อผลนิ่มเมื่อกดดูด้วยมือจะรู้สึกว่ายุบตัวลง เนื้อบริเวณขั้วผลเริ่มนิ่ม เนื้อมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล

6. ระยะสุกเต็มที่ ผิวผลจะมีสีเหลืองและมีสีเขียวปะปนบ้างเล็กน้อย ถึงแม้ว่าผลจะสุกเต็มที่แล้วก็ตาม แต่ผลยังคงมีสีเขียวปะปนอยู่ ยกเว้นกรณีที่ผลมะละกอนั้นถูกบ่มด้วยก๊าซเอทิลิน เนื้อภายในจะนิ่มและมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล ระยะนี้เป็นระยะที่เหมาะที่สุดสำหรับใช้รับประทานสด

การเก็บเกี่ยวผลมะละกอเพื่อใช้บริโภคดิบ ควรกระทำเมื่อผลมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 500-700 กรัมต่อผล ส่วนการเก็บผลมะละกอสุกเพื่อใช้รับประทานเป็นผลไม้สดหรือนำไปแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ ควรปล่อยให้ผลแก่เต็มที่

## 2.2 การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) เป็นกระบวนการแยกน้ำบางส่วนออกจากผลไม้โดยอาศัยการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างผลไม้กับสารละลายออสโมติก เช่น สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างน้ำภายในเซลล์ผลไม้กับสารละลายภายนอกเกิดเป็นแรงขับ ทำให้มีการถ่ายเทมวลสารที่เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกันผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Raoult-Wack, 1994) ดังแสดงในภาพที่ 2.1




$a_{ws} = a_w$ ของตัวถูกละลายที่อยู่ภายนอก

$a_{wp} = a_w$ ของเซลล์ผลไม้

**ภาพที่** 2.1 การถ่ายเทมวลสารระหว่างเนื้อเยื่อผลไม้กับสารละลายออสโมติก

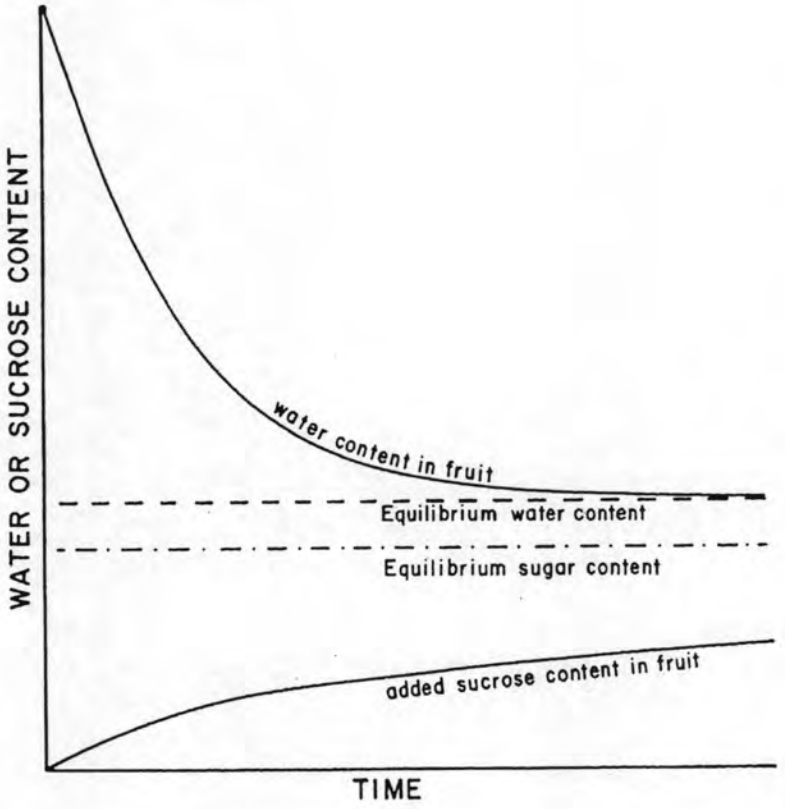
**ที่มา**: Barbosa-Canovas และ Vega-Mercado (1996)

การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. น้ำที่อยู่ภายในเซลล์ผลไม้จะไหลออกสู่สารละลายภายนอก
2. ตัวถูกละลาย (solutes) ที่อยู่ภายนอกจะเกิดการแพร่เข้าไปสู่เซลล์ผลไม้
3. ตัวถูกละลายที่มีอยู่ในเซลล์ผลไม้ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ และวิตามิน จะแพร่ออกจากเซลล์ผลไม้มายังสารละลายภายนอก

อัตราการถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรก และดำเนินต่อไปจนถึงภาวะสมดุล นั่นคืออัตราการถ่ายโอนมวลของน้ำในเซลล์และตัวถูกละลายภายนอกมีค่าคงที่ (Barbosa-Canovas และ Vega-Mercado,1996) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งภายหลังกระบวนการออสโมซิสแล้วสามารถลดปริมาณความชื้นของผลไม้ลงได้ 40-70 กรัมต่อน้ำหนักผลไม้สด 100 กรัม และมีการรับตัวถูกละลายจากภายนอกเข้ามาในผลไม้ 5-25 กรัมต่อน้ำหนักผลไม้สด 100

กรัม (Raoult-Wack, 1994) ภายหลังการออสโมซิสแล้วจะนำผลไม้ผ่านการทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนจนได้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม




**ภาพที่** 2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและปริมาณน้ำตาลในชิ้นผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส
**ที่มา**: Karel (1975)

ข้อดีของการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสเมื่อเทียบกับการอบแห้งธรรมดามีหลายประการดังนี้ ประการแรก ช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนสถานะของน้ำเมื่อถูกขับออกจากเซลล์ผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส ประการที่สอง ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์ เนื่องจากในระหว่างกระบวนการผลิตจะแช่ผลไม้ในสารละลายออสโมติกไม่ให้สัมผัสกับอากาศมากนัก ประการที่สาม สามารถลดการสูญเสียและการถูกทำลายด้านกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้เนื่องจากใช้ความร้อนในการอบแห้งที่อุณหภูมิไม่สูงจนเกินไปและผลไม้สัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลาไม่นาน และประการสุดท้าย ช่วยประหยัดพลังงานเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ในช่วงไม่สูงมากนัก เนื่องจากมีการลดความชื้นบางส่วนของผลไม้ออกไปในช่วงออสโมซิสแล้ว ดังนั้นผลไม้ที่ทำแห้งด้วยวิธีนี้จึงยังคงรักษากลิ่นรส และสีตามธรรมชาติไว้ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งธรรมดา (Lerici, Mastrocola และ Nicoli, 1988; Lazarides, 2001)

กระบวนการผลิตมะละกอแช่อิ่มอบแห้งประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอน (จิราพร กอศรีลบุตร, 2549) ดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนการคัดเลือกและการเตรียมวัตถุดิบ

การคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดี เนื่องจากคุณภาพวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงต้องมีหลักในการกำหนดปัจจัยคุณภาพของวัตถุดิบ และควบคุมวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ ลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาพิจารณาในการเลือก เช่น สายพันธุ์ ระดับความสุก ขนาด และรูปร่าง ซึ่งลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตในขั้นตอนการออสโมซิส ขั้นตอนการอบแห้ง และมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เช่น โครงสร้างเซลล์เมมเบรนที่แตกต่างกันมีผลต่อการแพร่ผ่านของสารละลายในช่วงการออสโมซิส ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลไม้ที่มีความสุกมากจะมีสีเข้มกว่าผลไม้ที่มีความสุกน้อยกว่า ส่วนความแก่อ่อนของผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งซึ่งผลไม้ที่นำมาแปรรูปเป็นผลไม้แห้งต้องมีระดับของความแก่อ่อนที่พอเหมาะ ผลไม้ที่นำมาแปรรูปต้องผ่านการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก รวมทั้งจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนมาออกให้หมดก่อนนำมาปอกเปลือกจากนั้นตัดเป็นชิ้นตามต้องการ

อาพร ละออกอ (2547) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตทดแทนสารละลายซูโครสบางส่วนในการทำแห้งมะละกอโดยการออสโมซิส โดยมะละกอที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นมะละกอพันธุ์แขกดำระยะการสุกหนึ่งในสี่แล้วนำมาบ่มในกล่องปิดฝาเป็นเวลาประมาณ 12-16 ชั่วโมง เมื่อบ่มแล้วจะมีระยะการสุกหนึ่งในสอง ซึ่งระยะการสุกดังกล่าวมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 88% ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10-12 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดประมาณ 0.1% ซึ่งสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมะละกอมีค่าใกล้เคียงกับคุณภาพมะละกอสำหรับการออสโมซิสซึ่งรายงานโดย Rodrigues, Cunha และ Hubinger (2003) จึงนำสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมะละกอดังกล่าว มาใช้กับงานวิจัยนี้เพื่อเป็นเกณฑ์ในการเลือกวัตถุดิบในการผลิตเพื่อให้อยู่ในเกณฑ์เดียวกันทุกครั้งที่ทำการทดลอง

2.2.2 ขั้นตอนออสโมซิส

ผลไม้ที่ผ่านการตัดเป็นชิ้นตามลักษณะที่ต้องการ เมื่อนำมาแช่ในสารละลายน้ำตาลจะส่งผลให้ปริมาณน้ำในผลไม้ลดลงและมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลซึมเข้าไป การแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกเป็นขั้นตอนการลดความชื้นบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อผลไม้ก่อนที่จะนำไปอบแห้งต่อไป ทำได้โดยการเลือกอัตราส่วนของสารละลายน้ำตาลต่อผลไม้ที่

เหมาะสม แล้วแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายน้ำตาลที่เตรียมไว้ ในขั้นตอนนี้อาจมีการกวนสารละลายน้ำตาลรอบ ๆ ชิ้นผลไม้เป็นครั้งคราวหรือตลอดเวลาเพื่อป้องกันการเจือจางที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งจากน้ำที่แพร่ออกมาจากชิ้นผลไม้ เมื่อผลไม้ผ่านการออสโมซิสที่เหมาะสมแล้ว นำขึ้นมาล้างสารละลายน้ำตาลที่ติดมาด้วยน้ำเย็น ซับน้ำให้แห้งก่อนนำไปอบแห้งต่อไป ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการออสโมซิสของชิ้นผลไม้ได้แก่ รูปร่างและขนาดของผลไม้ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกกับผลไม้ และอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก เป็นต้น ชนิดของน้ำตาลมีผลให้การออสโมซิสเกิดเร็วหรือช้าได้ โดยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจะช่วยให้เกิดการออสโมซิสเร็วขึ้น เนื่องจากน้ำตาลสามารถซึมเข้าในเนื้อผลไม้ได้มากขึ้น ในขณะที่น้ำตาลโมเลกุลคู่จะซึมเข้าในเนื้อผลไม้ได้ช้ากว่าทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าจึงจะกำจัดน้ำจากชิ้นผลไม้ได้ (Ponting และคณะ, 1966) ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ

Bolin และคณะ(1983) ศึกษาผลของการใช้สารละลายชนิดต่าง ๆ ในกระบวนการออสโมซิสแอปเปิ้ล สารละลายที่นำมาใช้ได้แก่ สารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ และสารละลาย high fructose corn syrup ความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ แช่ชิ้นแอปเปิ้ลหนา 15 มิลลิเมตร ในสารละลายดังกล่าวเป็นเวลา 7 ชั่วโมง พบว่าสารละลาย high fructose corn syrup สามารถซึมผ่านเข้าไปในชิ้นแอปเปิ้ลได้ 13% และสูญเสียปริมาณน้ำในเซลล์ออกไปถึง 70% ส่วนสารละลายซูโครสสามารถซึมผ่านเข้าไปในชิ้นแอปเปิ้ลได้ 8.8% และสูญเสียปริมาณน้ำในเซลล์ออกไป 65% ทั้งนี้เนื่องจาก high fructose corn syrup เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจึงสามารถซึมเข้าในเนื้อผลไม้ได้และกำจัดน้ำออกจากเซลล์ผลไม้ได้มากกว่าน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่

Lerici และคณะ (1985) ศึกษาผลของสารละลายชนิดต่าง ๆ ต่อกระบวนการออสโมซิส โดยแช่แอปเปิ้ลในสารละลายที่แตกต่างกัน ได้แก่ สารละลายซูโครสความเข้มข้น 59 องศาบริกซ์ สารละลายฟรุกโตสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ สารละลาย hydrolyzed corn starch syrup ความเข้มข้น 68 และ 70 องศาบริกซ์ สารละลายกลูโคสรวมกับสารละลายฟรุกโตสความเข้มข้น 66 องศาบริกซ์ และสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 51 องศาบริกซ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่ในสารละลาย hydrolyzed corn starch syrup ความเข้มข้น 68 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คือ 59.2% และมีการแพร่เข้าของของแข็งน้อยที่สุด คือ 7.2 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากสารละลาย hydrolyzed corn starch syrup ความเข้มข้น 68

องศาบริกซ์ มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์สูงถึง 20%จึงทำให้มีการแพร่เข้าของสารละลายได้น้อยเมื่อเทียบกับสารละลายอื่น ๆ

อาพร ละออกอ (2547) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตทดแทนสารละลายซูโครสบางส่วนในการทำแห้งมะละกอโดยการออสโมซิส โดยหั่นเป็นชิ้นขนาด 1.5x1.5x3.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร และแช่มะละกอในสารละลายซูโครสความเข้มข้นต่างๆ 4 ระดับ ได้แก่ 35, 45, 55 และ 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมงต่อระดับความเข้มข้น โดยแปรอัตราส่วนน้ำตาลอินเวิร์ต ที่ความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ เป็น 4 ระดับ คือ 0, 5, 10 และ 15% (v/v) จากนั้นนำมาอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระดับน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในสารละลายซูโครสเพิ่มสูงขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าน้ำตาลซูโครส ดังนั้นการแพร่เข้าของน้ำตาลจึงเกิดขึ้นได้มากกว่า และในช่วงของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีการเกิดผลึกน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมน้ำตาลอินเวิร์ต

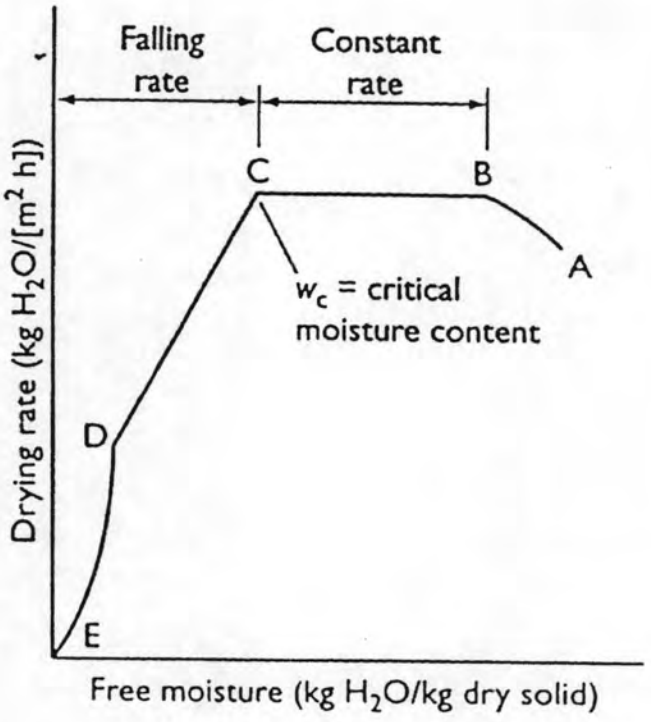
2.2.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

การอบแห้ง คือการลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสียได้ โดยมีค่า water activity ($a_w$) ต่ำกว่า 0.65 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน (Mossel, 1975) อาหารแห้งแต่ละชนิดมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยแตกต่างกัน โดยผลไม้อบแห้งเก็บได้ที่ความชื้นในช่วงประมาณ 15-20% และค่า $a_w$ ต่ำกว่า 0.65 กระบวนการนี้นอกจากจะช่วยให้สามารถเก็บอาหารไว้ได้นานขึ้นโดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิต่ำแล้วยังช่วยลดค่าใช้จ่ายของการบรรจุหีบห่อ การเก็บรักษา และการขนส่งให้น้อยลง เนื่องจากการทำแห้งนั้นสามารถลดน้ำหนักและปริมาตรของอาหารได้

2.2.3.1 กระบวนการอบแห้งอาหาร

กระบวนการอบแห้งอาหารในช่วงเริ่มต้น เป็นช่วงที่ทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น (ช่วง AB ในภาพที่ 2.3) จากนั้นจะเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) ซึ่งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (ช่วง BC ในภาพที่ 2.3) ความชื้นที่บริเวณผิวหน้าอาหารจะถูกระเหยออกไปและน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารก็เคลื่อนที่ขึ้นมาทดแทนที่ผิวหน้าซึ่งการระเหยของน้ำในช่วงนี้จะเกิดได้รวดเร็วด้วยอัตราคงที่ จากนั้นอัตราการอบแห้งจะดำเนินต่อไปจนถึงจุดปริมาณความชื้นวิกฤติ (จุด $W_c$ ในภาพที่ 2.3) ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยน

จากอัตราการอบแห้งคงที่ไปเป็นอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) โดยช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (ช่วง CE ในภาพที่ 2.3) จะเป็นช่วงการอบแห้งหลังจากผ่านจุดปริมาณความชื้นวิกฤติ โดยการเคลื่อนที่ของน้ำในชิ้นอาหารขึ้นมาที่ผิวหน้าเกิดขึ้นได้ช้าลงเพราะปริมาณน้ำอิสระ (free water) ในอาหารระเหยออกไปเกือบหมดแล้ว เหลือแต่น้ำส่วนที่เป็น bound water ซึ่งเป็นน้ำที่จับอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในอาหาร ทำให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้ยากขึ้น อัตราการอบแห้งจึงลดลง (Heldman และ Singh, 2001)




**ภาพที่** 2.3 กราฟอัตราการอบแห้ง
**ที่มา**: Heldman และ Singh (2001)

2.2.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิส

ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสมีหลายปัจจัย ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของผลไม้ ลักษณะโครงสร้างตามธรรมชาติของเนื้อผลไม้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เป็นต้น (จิราพร กอศรีลบุตร, 2549)

ผลไม้ที่มีรูปร่างเหมือนกันแต่ขนาดต่างกัน ชิ้นที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าทำให้อัตราการอบแห้งเร็วกว่า ส่วนในด้านลักษณะโครงสร้างตามธรรมชาติของเนื้อผลไม้ ถ้าเนื้อผลไม้มีรูพรุนมากจะทำให้การระเหยออกของน้ำเกิดได้เร็วกว่าผลไม้ที่มีเนื้อ

แข็งหรือมีความเป็นรูพรุนน้อยกว่า และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ดีขึ้น ดังนั้นถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการอบ อัตราการอบแห้งก็จะสูงตามไปด้วย แต่การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้ผิวหน้าของชิ้นผลไม้มีลักษณะแห้งแข็งและขัดขวางการระเหยของน้ำที่อยู่ภายในได้

2.2.3.3 การอบแห้งแบบสองขั้นตอน

ในการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงเพียงระดับเดียวเป็นระยะเวลานาน จะทำให้น้ำที่อยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยอย่างรวดเร็วเกินไป และน้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวได้ไม่ทันกับการระเหยของน้ำที่ผิวหน้า ในขณะเดียวกันก็จะมีสารละลายของน้ำตาลหรือโปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว (วิไล รังสาดทอง, 2546) ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งแข็ง (case hardening) และขัดขวางการระเหยออกของน้ำที่อยู่ภายใน ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง

Boudhrioua และคณะ (2002) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยอบ พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้กล้วยอบมีค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้น จากการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่อง texture analyzer พบว่าเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีค่า 4000, 18000 และ 54000 gf ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้น้ำระเหยจากผิวผลไม้ในอัตราเร็ว ทำให้มีตัวถูกละลายเคลื่อนย้ายจากด้านในออกมาด้านนอกในปริมาณสูง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพที่ซับซ้อนที่ผิว ส่งผลให้ผิวนอกของผลิตภัณฑ์แห้งและแข็งขึ้น (วิไล รังสาดทอง, 2546)

ดังนั้นการประยุกต์ใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งร่วมด้วยจึงเป็นการหลีกเลี่ยงกรณีดังกล่าว นอกจากนี้ยังสามารถช่วยชะลอการสลายตัวของรงควัตถุ วิตามินและช่วยรักษาคุณภาพด้านอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสามารถประหยัดพลังงานได้อีกด้วย โดยส่วนใหญ่การอบแห้งแบบสองขั้นตอนจะนิยมใช้ในการอบแห้งเมล็ดธัญพืช ดังตัวอย่างงานวิจัยดังต่อไปนี้

พิพัฒน์ อมตฉายา (2538) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกพบว่าวิธีที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก ทำได้โดยแบ่งการอบแห้งเป็นสองช่วง ในช่วงแรกจะอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยใช้เครื่องอบหรือตากบนลานเพื่อลดความชื้นลงเหลือ 18% แล้วนำมาอบต่อในช่วงที่สองโดยใช้อากาศแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงแรกเป่าผ่านกองข้าวเปลือก หลังจากที่อบแห้งและเก็บรักษาในที่เก็บประมาณ 10 สัปดาห์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่

ได้จากการอบแห้งสองขั้นตอนสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่ได้จากการตากลาน 8% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในช่วงที่สองนั้นจะช่วยรักษาคุณภาพของเมล็ดข้าวไว้ได้เนื่องจากเป็นการลดอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกให้ลดลงอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการร้าวของเมล็ดข้าวที่อาจเกิดขึ้นได้

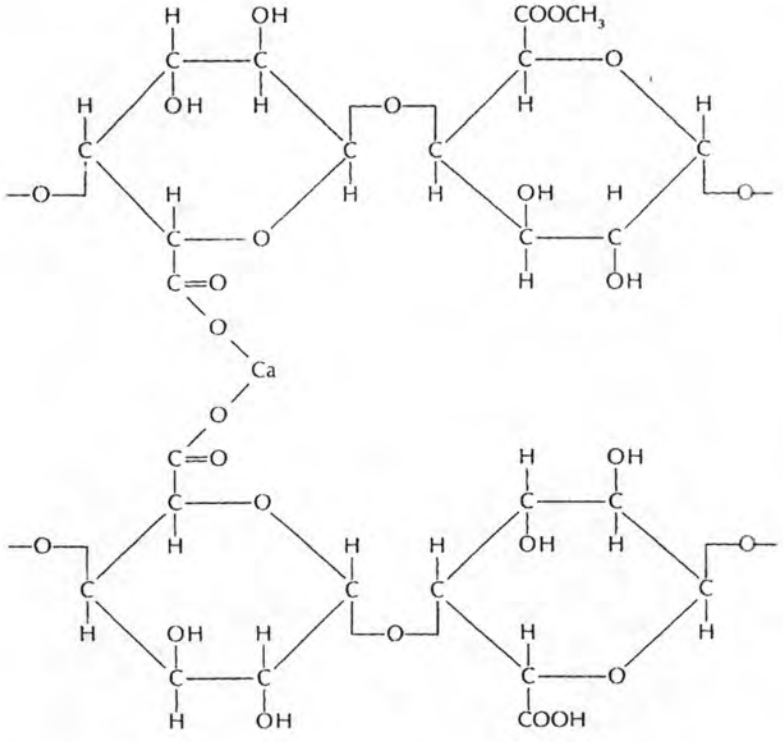
ธัญญารัตน์ เตชทรัพย์อมร (2549) ศึกษาผลของการอบแห้งแบบสองขั้นตอนต่อปริมาณสารหอม 2-อะเซทิล-1-พีโรลีน ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยนำเอาเทคนิคฟลูอิไดเซชันมาใช้ร่วมกับการอบแห้งในโรงเก็บ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ได้แก่ 100, 115, 125, 135 และ 150 องศาเซลเซียส เพื่อให้ความชื้นลดลงจาก 35% เป็น 23-25% (dry basis) จากนั้นในช่วงที่สอง นำตัวอย่างข้าวเปลือกไปอบแห้งในโรงเก็บ (ตากในที่ร่ม) จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 14-15% (dry basis) พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงไม่สามารถช่วยรักษาปริมาณสารหอม 2-อะเซทิล-1-พีโรลีน ส่วนในขั้นตอนการอบแห้งในโรงเก็บจะช่วยให้เมล็ดข้าวมีการแพร่ของความชื้นอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการลดอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกให้ลดลงอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการร้าวของเมล็ดข้าวที่อาจเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงจากการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบด ความชื้นในเมล็ดข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเมื่อทิ้งไว้จะทำให้ผิวภายนอกของเมล็ดข้าวมีความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดลดต่ำลงในขณะที่ภายในเมล็ดยังมีความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดสูงอยู่ ทำให้ความชื้นภายในเมล็ดแพร่สู่ภายนอก เมื่อภายนอกได้รับความชื้นจึงเกิดการขยายตัว ในขณะที่ภายในเมื่อสูญเสียความชื้นจึงเกิดการหดตัว เมื่อเกิดแรงทั้งสองพร้อมกันจึงนำไปสู่การแตกร้าวในเมล็ดข้าวได้

## 2.3 การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปหลายขั้นตอน มีทั้งการแช่ในสารละลายน้ำตาลเป็นเวลานานและการใช้ความร้อนในขั้นตอนการอบแห้ง จึงอาจทำให้คุณภาพของผลไม้ที่เป็นวัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยเฉพาะคุณภาพในด้านเนื้อสัมผัส สี และลักษณะปรากฏ การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งสามารถทำได้ในหลายขั้นตอนของกระบวนการผลิต แต่ที่นิยมทำกันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม คือ การแช่สารละลายผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (pretreatment) และการปรับปรุงคุณภาพในขั้นตอนการออสโมซิส

2.3.1 การแช่สารละลายผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (pretreatment)

การใช้สารประกอบแคลเซียมเพื่อรักษาความคงรูปของเนื้อผลไม้ เป็นวิธีการหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส เนื่องจากผลไม้แช่อิ่มอบแห้งต้องผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลช่วงการออสโมซิสเป็นเวลานานจึงอาจทำให้เนื้อผลไม้นิ่มลง โดยทั่วไปนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับกรดซิตริกและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เป็นสารรักษาความคงรูปของผลิตภัณฑ์ โดยในโครงสร้างของเซลล์ผลไม้มีสารประกอบพวกเพกทิน ซึ่งประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิคต่อกันเป็นสายยาวส่งผลให้เนื้อผลไม้มีความแข็งแรง เมื่อผลไม้เริ่มสุกเอนไซม์เพกทินเมทธิลเอสเทอเรสจะดึงหมู่เมทธิลออกจากโมเลกุลของเพกทินได้เป็นกรดเพกติก ในช่วงนี้ถ้าผลไม้แช่อยู่ในสารละลายเกลือแคลเซียมจะเกิดการแทรกซึมของแคลเซียมอิออนเข้าไปในเนื้อผลไม้และแคลเซียมอิออนจะไปจับกับโมเลกุลของเพกทินที่ดึงหมู่เมทธิลออกแล้ว ได้เป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเทตทำให้ผลไม้คงรูปอยู่ได้ (Bourne, 1976) การเกิด cross linking ระหว่างโมเลกุลเพกทินด้วย calcium salt bridge แสดงในภาพที่ 2.4



**ภาพที่** 2.4 การเกิด cross linking ระหว่างโมเลกุลเพกทินด้วย calcium salt bridge

**ที่มา**: Charley (1982)

Monsalve-Gonzalez, Barbosa-Canovas และ Cavalieri (1993) ศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในช่วงการออสโมซิสชิ้นแอปเปิ้ลในสารละลายซูโครส 52 องศาบริกซ์ พบว่าการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.15% ไม่มีผลต่ออัตราส่วนค่าความแข็งระหว่างแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสและแอปเปิ้ลสด และการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.30 และ 0.60% มีผลต่ออัตราส่วนค่าความแข็งระหว่างแอปเปิ้ลที่ผ่านการออสโมซิสและแอปเปิ้ลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.60% จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสขมมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.30%

Luna-Guzman, Cantwell และ Barrett (1999) ศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปหลังการตัดแต่ง พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1-5% สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปให้ดีขึ้นได้และเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อแคนตาลูปก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นและมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย

2.3.2 การปรับปรุงคุณภาพในขั้นตอนการออสโมซิส

ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมักเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการเก็บรักษาที่สำคัญคือการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำตาลส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งกรอบ และมีผลึกน้ำตาลเกาะบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการควบคุมการเกิดผลึกน้ำตาลจึงเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษา สามารถทำได้โดยปรับสัดส่วนของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ในผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการออสโมซิส (Brown,1969) โดยน้ำตาลที่มีการนำมาใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรม คือ กลูโคสไซรัปและน้ำตาลอินเวิร์ต

น้ำตาลอินเวิร์ตเป็นน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้เป็นของผสมกลูโคสและฟรุกโตสในสัดส่วนที่เท่ากัน (Moreau และคณะ, 2002) การเติมน้ำตาลอินเวิร์ตในกระบวนการออสโมซิส ส่วนใหญ่จะช่วยป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลในสารละลายออสโมติกและช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลไม้แช่อิ่มไม่แห้งและแข็งจนเกินไป และยังช่วยเพิ่มน้ำหนักให้แก่ผลิตภัณฑ์ แต่หากมีน้ำตาลชนิดนี้มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวเยิ้มและอายุการเก็บสั้นลง (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, 2538)

น้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติหลายประการเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร และทำให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ดี สมบัติดังกล่าวได้แก่ สมบัติการดูดความชื้น สมบัติการควบคุมการเกิดผลึกน้ำตาลและสมบัติในการลดค่า $a_w$ (British Sugar, 2005) น้ำตาลอินเวิร์ตมีความสามารถในการดูดน้ำได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชุ่มชื้น ส่วนการควบคุมการเกิดผลึกในผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ถือว่ามีความสำคัญมาก เพราะหากผลิตภัณฑ์เกิดผลึกน้ำตาล จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งกรอบและมีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นที่ผิวหน้า ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตจึงช่วยยืดอายุการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น และการที่สารละลายน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่า $a_w$ ต่ำกว่าสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน จึงมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมเสียได้ดี และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้

จิราพร กอศรีลบุตร (2549) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับสารละลายซูโครสในการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง โดยแช่แคนตาลูปในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์โดยแปรอัตราส่วนน้ำตาลอินเวิร์ตเป็น 4 ระดับ คือ 0, 5, 10 และ 15% (v/v) พบว่าเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ค่า $a_w$ ของผลิตภัณฑ์ลดลง การที่ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตสามารถลดค่า $a_w$ ได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมน้ำตาลอินเวิร์ตและค่า $a_w$ ของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้นจึงจับกับน้ำได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครส ดังนั้นน้ำตาลอินเวิร์ตจึงมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมเสียได้ดีส่งผลต่อการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์