บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การทำแห้งผักและผลไม้

การทำแห้ง (dehydration) เป็นวิธีการถนอมอาหารที่ใช้กันมาช้านานแล้ว นิยมใช้กับอาหารประเภทผัก ผลไม้ ปลา และเนื้อสัตว์ เป็นต้น ปัจจุบันอุตสาหกรรมผักและผลไม้แห้งมีความสำคัญต่อการเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรกรรมหลายประเภท ในประเทศสหรัฐอเมริกาอุตสาหกรรมผักและผลไม้แห้งมีมูลค่าหลายร้อยล้านเหรียญสหรัฐต่อปี อีกทั้งยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญในอีกหลายประเทศ เช่น กรีซ อิหร่าน ตุรกี โปรตุเกส อิรัก ออสเตรเลีย อาร์เจนตินา อียิปต์ และ ยูโกสลาเวีย เป็นต้น ผลิตผลรวมทั่วทั้งโลกมีปริมาณโดยเฉลี่ย 2,060,000 เมตริกตันต่อน้ำหนักแห้ง ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้แห้ง จึงมีความสำคัญมากในตลาดโลก (Nury และคณะ, 1973)

การทำแห้งผักและผลไม้ เป็นการกำจัดน้ำที่มีปริมาณมากออกจากผักและผลไม้ ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำหนักและปริมาตรของผักและผลไม้ลดลง ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความสะดวกในการบรรจุ การเก็บรักษา และการขนส่ง อีกทั้งยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แห้งให้นานขึ้นด้วย เพราะผักและผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งแล้วจะมีความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นและมีปริมาณน้ำลดลงเพียงพอที่จะป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งระดับของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ต้องการนั้นขึ้นกับชนิดของผักและผลไม้ อย่างไรก็ตามในระดับอุตสาหกรรมต้องยังพิจารณาถึงคุณภาพและลักษณะเฉพาะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผู้บริโภคต้องการ ตลอดจนค่าใช้จ่ายที่ใช้ด้วย (Peter, 1997)

ปัจจุบันการทำผักและผลไม้อบแห้ง สามารถทำได้หลากหลายวิธีแต่ละวิธีจะมีผลต่อคุณภาพและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายแตกต่างกัน การจะเลือกใช้วิธีการใดนั้นควรพิจารณาจากลักษณะของวัตถุดิบ ปริมาณผักและผลไม้ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ และลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผู้บริโภคยอมรับ ปัจจัยสำคัญคือการเลือกใช้วิธีการอบแห้งที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในปริมาณและลักษณะที่ต้องการ หรือเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายในระดับที่สมเหตุสมผลกับรายได้จากการขายผลิตภัณฑ์

วิธีดั้งเดิมในการทำแห้งผักและผลไม้ นิยมใช้วิธีการตากแดด ซึ่งถือว่าการใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนประหยัดที่สุด แต่มีข้อเสียเปรียบ คือ ความผันแปรของสภาพอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้ ตลอดจนการควบคุมสุขลักษณะทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นต่อมาจึงได้

พัฒนาการอบแห้งแบบใช้ลมร้อน ซึ่งเป็นการอบแห้งที่นิยมใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ซึ่งจะกระทำในระบบปิด ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตและสุขลักษณะได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการตากแดด ปัจจุบันมีเครื่องอบแห้ง (dryer) หลายชนิดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม วิธีการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบต่างๆ จะมีค่าใช้จ่ายสูงในด้านของราคาเครื่องอบแห้งและเชื้อเพลิงที่ใช้ (Nury และคณะ, 1973) อีกทั้งลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้มักจะมีการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ เช่น คุณภาพของกลิ่น สี และรสชาติ การสูญเสียสารอาหารเนื่องจากถูกทำลายเมื่อใช้ความร้อนค่อนข้างสูง ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้แก่ การเกิดสีคล้ำ (darkening) ในผลิตภัณฑ์ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) เป็นต้น ลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าวจะเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อีกทั้งในผักและผลไม้หลายชนิดจำเป็นต้องผ่านการทำ pretreatment ต่าง ๆ เช่น การล้าง การปอก การหั่น ตลอดจนการแช่ในสารละลาย เช่น แคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริก โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ล้วนมีผลกระทบต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งเช่นกัน (Nury และคณะ, 1973)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษาผักและผลไม้

1. **การสูญเสียวิตามิน** (วิตามินซีและบีตา-แคโรทีน)

ผักและผลไม้เป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินซีและโปรวิตามินเอ คือ บีตา-แคโรทีน การทำแครอทอบแห้งด้วยวิธีการ 3 วิธี คือ explosive puffing, air drying และ vacuum freeze drying พบว่า 2 วิธีแรก มีบีตา-แคโรทีนเหลือเพียง 60% ขณะที่วิธี freeze drying เหลือถึง 80% ผลของกระบวนการที่ใช้ เช่น การลวก การรมกำมะถัน และวิธีการทำแห้งโดยใช้ bin drying และ cabinet drying ต่อความคงตัวของบีตา-แคโรทีนและแซนโทฟิลล์ในพาร์สเลย์ พบว่าการอบแห้งโดย bin drying พาร์สเลย์ที่ยังไม่ได้ลวกจะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนคงเหลืออยู่มากกว่าพาร์สเลย์ที่ผ่านการลวก แต่พืชบางชนิดมีบีตา-แคโรทีนคงเหลืออยู่ในตัวอย่างที่ผ่านการลวกมากกว่าที่ไม่ผ่านการลวก

อะพริคอทผ่าครึ่งผลอบแห้งด้วยแสงแดด สูญเสียโปรวิตามินเอ 13-14% ขณะที่แครอทอบแห้งไม่มีการสูญเสียเลย การทำซัลไฟต์ก็ไม่มีผลต่อปริมาณแคโรทีน และการทำ drum drying จะสูญเสียแคโรทีนเพียง 9-10% สำหรับการอบแห้งทุกๆ วิธีจะสูญเสียวิตามินซีประมาณ 74-91%

ผลของการทำ predrying treatment การทำแห้ง การเก็บรักษา และการแช่น้ำให้คืนตัวต่อปริมาณแคโรทีนที่มีอยู่ในพริกหวานและท้อระหว่างการอบแห้ง พบว่าปริมาณแคโรทีนในพริก

หวานไม่มีการสูญเสียเลย และในผลท้อสูญเสียประมาณ 27.3% ภายหลังการทำ predrying treatment และสูญเสีย 62.7% ภายหลังการอบแห้ง ส่วนการสูญเสียวิตามินซีอาจผันแปรตามชนิดของพืช เช่น ในกรณีของพริกหวานจะสูญเสียวิตามินซีเกือบทั้งหมดระหว่างการอบแห้งและเก็บรักษา

การอบแห้งอย่างรวดเร็วจะสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการอบแห้งอย่างช้าๆ การทำผักอบแห้งโดยการตากแดดจะสูญเสียวิตามินซีมาก แต่ถ้าทำให้ผักแห้งโดยใช้ freeze drying จะลดการสูญเสียวิตามินซีให้น้อยลง ในประเทศไนจีเรียได้มีการศึกษาผลของการทำแห้งโดยการตากแดดผักจำนวน 10 ชนิด พบว่าผักแห้งสูญเสียวิตามินซีประมาณ 21-58% ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผัก การทำแห้งโดยวิธี freeze drying จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อย เพราะเป็นกระบวนการที่กระทำในภาวะสุญญากาศ

โดยทั่วไปเป็นการยากที่จะศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียวิตามินชนิดต่างๆ ระหว่างการอบแห้งแต่ละวิธี เพราะการสูญเสียวิตามินซีจะผันแปรขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหาร pre-drying treatment ที่ใช้ (เช่น การลวก หรือการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์) และภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง (เช่น วิธีการ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้)

2. การสูญเสียสารสีธรรมชาติ

สีเป็นปัจจัยสำคัญในการชี้บ่งคุณภาพของอาหารที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภค เพราะสีสามารถชี้บ่งว่าอาหารมีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป สีธรรมชาติที่พบในผักและผลไม้ คือ แคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ การรักษาสีธรรมชาติให้คงอยู่ระหว่างการอบแห้งจึงมีความสำคัญเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งเป็นที่ยอมรับและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ทั้งแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่ละลายได้ในไขมัน แคโรทีนอยด์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง เพราะโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์มีพันธะคู่มาก สารประกอบแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่ คือ แคโรทีนและออกซีแคโรทีนอยด์ (แซนโท-ฟิลล์)

การลวกจะทำให้สูญเสียสารบางชนิดที่ละลายออกไปในน้ำได้ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในแครอทระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา หากสูญเสียน้ำมากจะมีผลทำให้แคโรทีนอยด์ถูกทำลายมากขึ้นด้วย

การรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ในแครอทที่ไม่ผ่านการลวกก่อนการอบแห้งได้ แครอทที่ไม่ได้ลวกแต่แช่ในสารละลายซัลไฟต์แล้วนำไปอบแห้งจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าแครอทที่อบแห้งโดยไม่ผ่านการลวกและแช่

ซัลไฟต์ถึง 2.9 เท่า ถึงแม้แครอทจะผ่านการลวกก่อน การอบแห้ง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็สามารถช่วยป้องกันการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ได้ และประสิทธิภาพจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากขึ้น

สำหรับคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสีเขียวที่พบอยู่ในผัก พบว่าระหว่างการอบแห้งปริมาณค่อนข้างคงตัวในภาวะที่มีความชื้นต่ำ การสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอช เวลา activity ของเอนไซม์ ออกซิเจน และแสง สำหรับกลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ คือจะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin)ในภาวะที่เป็นกรด (สินธนา, 2535)

a_w ก็มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ตัวอย่างเช่น ในระหว่างการอบแห้งผักโขมที่ผ่านการลวกด้วยวิธี freeze drying พบว่าคลอโรฟิลล์ส่วนใหญ่จะสลายตัวเป็นฟีโอ-ไฟตินที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและ a_w สูงกว่า 0.32

อย่างไรก็ตาม หากค่า a_w ต่ำกว่า 0.32 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เป็นฟีโอไฟตินจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ คลอโรฟิลล์เอเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วกว่าคลอโรฟิลล์บีประมาณ 2.5 เท่า นอกจากนี้ การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เป็นฟีโอไฟติน ยังขึ้นอยู่กับพีเอชและอุณหภูมิอีกด้วย

3. การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและบทบาทของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sapers, 1993)

การเก็บรักษาผักและผลไม้อบแห้งไว้เป็นระยะเวลานาน จะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งมี 2 แบบคือ แบบที่เร่งด้วยเอนไซม์ และแบบที่ไม่อาศัยเอนไซม์ แบบที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมโนและออร์โทไดฟีนอลให้เป็นวงแหวนควิโนน ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อและเกิดปฏิกิริยา condensation ได้เป็นสารสีน้ำตาล เรียกว่า เมลานิน (melanins) ปฏิกิริยาเหล่านี้ถูกเร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

ในการนำผักและผลไม้มาอบแห้ง จะทำการลวกเสียก่อนเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลไม่ให้เกิดขึ้นได้ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ตั้งแต่ก่อนลวกวัตถุดิบได้ และช่วยชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้อบแห้งด้วยโดยเฉพาะเมื่อเอนไซม์ไม่ได้ถูกทำลายเช่นการอบแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง

สำหรับการเกิดปฏิกิริยา Maillard browning เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิล ทำให้เกิดโพลีเมอร์ของสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า melanoidin pigments ปฏิกิริยานี้มีบางครั้งก็เป็นประโยชน์ แต่ส่วนใหญ่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์อาหาร เพราะทำให้เกิดสีและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และยังทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากสูญเสียกรดอะมิโนไลซีนและคุณภาพของโปรตีน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยานี้ คือ น้ำตาล เอมีน พีเอช อุณหภูมิ และ a_w

ปัจจุบันนิยมใช้ซัลไฟต์ก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งจะช่วยควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ในผักและผลไม้อบแห้งได้ระดับหนึ่ง แต่ปริมาณการใช้มีจำกัดเพราะมีผู้บริโภคบางส่วนมีความไวต่ออาหารที่มีสารซัลไฟต์ ซึ่งจะทำให้เกิดอาการหืด-หอบ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซิสเตอีน แคลเซียมคลอไรด์ ทรีฮาโลส (trehalose) แมงกานิสคลอไรด์ ไดโซเดียมไฮโดรเจนไพโรฟอสเฟตและใช้สารดูดออกซิเจน พบว่าการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับสารดูดออกซิเจนเท่านั้น ที่ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิลอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาได้ การเก็บรักษาแอปเปิลอบแห้งในภาวะที่มีสารดูดออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลช้ากว่าการเก็บรักษาในภาวะบรรยากาศปกติ

4. การสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสูญเสียรสชาติ

กลิ่นและรสชาติของผักและผลไม้อบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญในการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค จึงควรควบคุมให้มีการสูญเสียกลิ่นและรสชาตินอ้ยที่สุด นอกจากนี้ ผักและผลไม้อบแห้งบางชนิดยังมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไปจากธรรมชาติได้ ตั้งแต่ระยะก่อนอบแห้ง กำลังอบแห้งและระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสีย เช่น การขนส่งวัตถุดิบ การแปรรูปล่าช้า ถูกแสง ได้รับอุณหภูมิสูง และมีสารเคมีปนเปื้อน ต้องคำนึงไว้เสมอว่าสารให้กลิ่นและรสชาติเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น น้ำมันหอมระเหย

ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งจะมีความไวต่อภาวะที่ใช้เก็บรักษามากกว่า เพราะมีลักษณะเนื้อเป็นรูพรุน ทำให้อากาศเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในเนื้อผักอบแห้งได้ง่าย จึงทำให้เกิดกลิ่นอับหรือเก่าเก็บอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น แครอทอบแห้งแบบวิธีแช่เยือกแข็ง จะมีกลิ่นผิดปกติเมื่อเก็บรักษาไว้ในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสในเวลา 1 เดือน แต่หากลดปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุลงเหลือ 0.1% จะสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศา-เซลเซียส ได้นาน 6 เดือน กลิ่นผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแครอทอบแห้ง เชื่อว่าเกิดขึ้นเนื่องจากมีการสร้างสารบีตา-ไอโอโนนจากบีตา-แคโรทีน เพราะพบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างการสูญเสียบีตา-แคโรทีนและการเกิดกลิ่นผิดปกติของแครอทอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้อบแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง จึงควรปราศจากก๊าซออกซิเจนใน head space (Rooney, 1981) และใช้บรรยากาศที่มีก๊าซไฮโดรเจน 5% ผสมในก๊าซไนโตรเจนร่วมกับการใช้ palladium catalyst โดยเฉพาะผักและผลไม้อบแห้งที่มีแคโรทีนสูง เช่น แครอท ผักโขม และมันเทศ เป็นต้น

5. ลักษณะเนื้อสัมผัสและการคืนรูป

การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ เพราะเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่วิธีนี้จะทำลายลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างถาวร ทำให้เกิดการหดตัว เกิดการสุกอย่างช้าๆ (slow cooking) และเมื่อแช่น้ำจะเกิดการคืนรูปได้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะผักอบแห้งจะหดตัวมาก เพราะท่อดาพิลลารีเสียสภาพและหดตัว ซึ่งมีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุ คือ มีการสูญเสีย differential permeability ใน protoplasmic membrane สูญเสีย turgor pressure ภายในเซลล์ โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ สตาร์ชเกิดผลึก และการสลายพันธะไฮโดรเจนของสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ ดังนั้นลักษณะเนื้อของผักอบแห้งด้วยลมร้อน จะเสื่อมสลายระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะผักอบแห้งที่ยังมีความชื้นสูง รวมทั้งผักอบแห้งจะเสียหายได้ง่ายระหว่างการแช่แข็ง เก็บรักษา และทำให้คืนตัว

ผลการศึกษากลไกการระเหยออกของน้ำ พบว่ามีผลกระทบต่อโครงสร้างของเซลล์ เช่น มีการสูญเสีย selective permeability ของ cytoplasmic membrane ของเซลล์ ซึ่งมีหน้าที่รักษาสภาพความเต่งและความกรอบของผักและผลไม้ เมื่อมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์จะทำให้ผนังเซลล์เสียรูปทรงและยุบตัวทำให้เซลล์และเซลล์ข้างเคียงเหี่ยวลง

เทคนิคที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของผักและผลไม้อบแห้งภายหลังการแช่น้ำให้คืนตัวและลดระยะเวลาการอบแห้ง คือ การเติมสารบางชนิดลงไป ได้แก่ เกลือและสารประกอบโพลีไฮดรอกซี (polyhydroxy compounds) เช่น น้ำตาลและกลีเซอรอลใช้เป็น predrying treatment

การใช้โซเดียมคาร์บอเนตร่วมกับน้ำตาลซูโครส (60%) ทำ predrying treatment ก่อนการทำแห้งเซเลอรี พบว่ามีคุณภาพ rehydration ดีที่สุด คือ 75% หรือการทำ presoaking treatment สารละลายผสมของเกลือและน้ำตาลที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนาน 16 ชั่วโมง เมื่อนำไปอบแห้งพบว่าเพิ่ม % rehydration ของดอกกะหล่ำและลดการเหี่ยวของดอกกะหล่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ทำ pretreatment นอกจากนั้น เพกตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์และ intercellular tissue ก็มีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการคืนรูปของผลไม้อบแห้ง

6. อิทธิพลของ a_w

a_w มีบทบาทสำคัญมากต่อการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหารอบแห้ง a_w เป็นอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอน้ำของน้ำบริสุทธิ์ (Po) ที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ P/Po a_w มีผลต่อปฏิกิริยาที่ทำให้อาหารเน่าเสีย การเจริญเติบโตหรือความคงตัวของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในอาหาร ซึ่งสัมพันธ์กับความคงตัวของอาหาร ปัจจุบันเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่าจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่ปราศจากน้ำหรืออาหาร

แห้ง เมื่ออาหารนั้นมี a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.7 หรือต่ำกว่า แต่ก็ยังมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้ทั้งที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง เช่น ปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวหากเกิดขึ้นกับอาหารจะทำให้มีสี กลิ่น รสชาติ และความคงตัวเปลี่ยนไปด้วยระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษา ดังนั้นจึงใช้ a_w เป็นตัวชี้บ่งหรือทำนายการเน่าเสียของอาหาร และใช้กำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นานและมีความคงตัว

ความสัมพันธ์ระหว่าง equilibrium moisture content กับ a_w เรียกว่า sorption isotherm ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการทำแห้งและการเก็บรักษา รูปแบบของ isotherm จะเป็นตัวชี้บ่งความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา (storage stability) ของอาหารแห้ง ซึ่งสามารถนำไปกำหนดลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่สัมพันธ์กับวิธีการอบแห้งที่ใช้ ชนิดของภาชนะบรรจุและภาวะที่ใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งจะดูดซึม water vapour ได้มากกว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศ a_w มีอิทธิพลต่อทั้งลิปิดออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ เช่น การเกิด autoxidation ของ ลิปิดจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่ a_w ต่ำ และอัตราเร็วจะลดลงเมื่อ a_w เพิ่มมากขึ้นจนถึง 0.3-0.5 และจะเพิ่มมากขึ้นอีกครั้งหลังจาก a_w สูงกว่า 0.5 ส่วนปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดอย่างรวดเร็วเมื่อ a_w อยู่ในช่วง 0.4-0.6 และจะเกิดช้าลงเมื่อ a_w สูงหรือต่ำกว่าช่วงนี้ และยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหาร (โดยเฉพาะอาหารที่มีกรดอะมิโนและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ) พีเอช และ a_w ด้วย ที่น่าสนใจมาก คือช่วง a_w ที่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดจะเกิด autoxidation ของลิปิดมากที่สุด (Dimitri, 1979)

7. จุลินทรีย์

ในอดีตการเก็บรักษาอาหารโดยการอบแห้งมุ่งเน้นป้องกันการเน่าเสียเฉพาะที่เกิดจากจุลินทรีย์ ต่อมาพบว่าปริมาณน้ำที่ยังคงเหลืออยู่ในอาหารอบแห้งยังจำเป็นต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและการทำงานของเอนไซม์อีกด้วย เพราะการกำจัดน้ำออกไปจากอาหารจะทำให้ตัวถูกละลายที่มีอยู่ในอาหารมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น และจำกัดปริมาณน้ำสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หากอาหารอบแห้งมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ (Dimitri, 1979)

อย่างไรก็ตาม ระหว่างการอบแห้งอาจมีจุลินทรีย์บางส่วนลดจำนวนลง หรือถูกทำลาย แต่ก็อาจมีจุลินทรีย์บางส่วนสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ค่า a_w ของอาหารอบแห้ง พีเอช สารกันบูด ออกซิเจน และอื่นๆ ดังนั้นการอยู่รอดของ

จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียจึงเป็นปัญหา และจะเป็นปัญหามากยิ่งขึ้นหากพบว่ามีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคปนเปื้อนอยู่ด้วย

วิธีการหรือภาวะที่ใช้อบแห้งอาหาร มักจะคำนึงถึงการรักษาสี กลิ่นและ รสชาติธรรมชาติของอาหารไว้ให้มากที่สุด ดังนั้นจึงพยายามใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดหรือระยะเวลาสั้นที่สุด ไม่ว่าจะใช้กระบวนการอบแห้งวิธีใด ได้แก่ การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อบด้วยลมร้อน ตากแดด หรือใช้อุณหภูมิสูง เช่น spray หรือ drum drying ก็ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีจุลินทรีย์บางส่วนมีชีวิตรอดอยู่ได้ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้ดี ได้แก่ สปอร์ของแบคทีเรีย ยีสต์ รา และ thermoduric bacteria ดังนั้น จึงอาจมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เกิดขึ้นก่อนที่จะอบแห้งจนมีค่า a_w ลดลงมาต่ำจนถึงระดับที่ต้องการ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหรือสร้างสารพิษได้

ผักเป็นวัตถุดิบที่มีโอกาสปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์จากดินและน้ำมากกว่าผลไม้ นอกจากนี้ผักยังมีกรดและน้ำตาลต่ำกว่าผลไม้ด้วย ดังนั้นคุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำไปอบแห้งจึงมีความสำคัญมาก ชนิดของแบคทีเรียที่พบมากในน้ำและดิน คือ *Bacillus* และ *Pseudomonas* นอกจากนี้ยังอาจพบพวก *Achromobacter*, *Clostridium*, *Micrococcus* และ *Streptococcus* ในผักอบแห้งบางชนิดได้

ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อจำนวนจุลินทรีย์ของผักอบแห้ง คือ จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นในวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการ treatment ก่อนการอบแห้ง เช่น การปอกเปลือก หรือการลวก รวมทั้งช่วงระยะเวลาระหว่างการเตรียมวัตถุดิบถึงเมื่อเริ่มต้นอบแห้ง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้อบแห้ง และปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ รวมทั้งความสะอาดและสุขอนามัยระหว่างการอบแห้งและภายหลังการอบแห้ง เช่น ความสะอาดของห้องเตรียมวัตถุดิบหรือห้องเก็บรักษา การลวกจะทำลายเอนไซม์และลดจำนวนจุลินทรีย์จากวัตถุดิบลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยกเว้นการทำหอมหัวใหญ่อบแห้งจะไม่ผ่านการลวกเพื่อรักษากลิ่นธรรมชาติไว้ให้มากที่สุด จึงต้องคำนึงถึงจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบด้วย

8. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา

อายุการวางจำหน่ายหรือเก็บรักษาของผักและผลไม้อบแห้งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะทางธรรมชาติของผักและผลไม้ ภาวะการวางจำหน่ายหรือเก็บรักษา และชนิดของภาชนะบรรจุที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงไม่พึงประสงค์ที่จะให้เกิดขึ้น ได้แก่ มีกลิ่นผิดปกติ เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล สูญเสียสารสีและสารอาหารดังกล่าวแล้วข้างต้น การทราบถึงปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ ปัจจัยสำคัญที่มีผล

ต่อความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา ระยะเวลา แสง และก๊าซออกซิเจน นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับวิธีการอบแห้งที่ใช้ การทำ pretreatment ก่อนการอบแห้ง และระยะเวลาก่อนที่จะแสดงลักษณะปรากฏที่ผิดปกติ

ความชื้นในผักและผลไม้อบแห้ง เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของอาหารแห้ง ปัจจัยรองลงมา คือ อุณหภูมิ เพราะอุณหภูมินอกจากเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสลายให้เกิดเร็วขึ้นแล้ว (การไฮโดรไลซิสลิปิด การเกิดออกซิเดชัน การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ และการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน) ยังเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเน่าเสียอีกด้วย การกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุโดยการเก็บรักษาในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนจะยืดอายุการเก็บรักษาหรือความคงตัวของผักและผลไม้อบแห้งได้นานขึ้น การเก็บรักษาในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและมีก๊าซไฮโดรเจน 5% ในก๊าซไนโตรเจนร่วมกับ palladium catalyst ให้ผลในการเก็บรักษาดีที่สุด

แสงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของผักและผลไม้อบแห้ง เพราะทำให้สารสีถูกทำลายทั้งคลอโรฟิลล์และแคโรทีน รวมทั้งวิตามินบางชนิดก็ถูกทำลายด้วยแสง เช่น วิตามินซี วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง และวิตามินเอ ดังนั้นภาชนะบรรจุที่ใช้ควรป้องกันไม่ให้อาหารอบแห้งถูกแสงด้วย (Dimitri, 1979)

การทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส

การทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส เป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหาร (partially dehydration) โดยการแช่อาหารลงในสารละลายเกลือ หรือน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ซูโครส ซอร์บิทอล หรือกลีเซอรอลที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งจัดเป็น minimal process อย่างหนึ่ง เพราะใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เช่น ใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส (Lazarides และคณะ, 1995) อย่างไรก็ตามการทำแห้งผักและผลไม้โดยวิธีนี้ยังมีข้อเสียเปรียบบางประการ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัยเพื่อนำกระบวนการดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรมการทำแห้งผักและผลไม้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภคและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

หลักการของกระบวนการออสโมซิส เป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ต้องการศึกษาวิจัยควรต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ เพราะขณะที่ผลไม้แช่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จะเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมซิสระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายที่ผลไม้แช่อยู่ เกิดเป็นแรงขับ (driving force) ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร โดยน้ำจะแพร่กระจายออกจากเซลล์มายังสารละลายภายนอกและตัวถูกละลายในสารละลายจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ และสารบางอย่างภายในเซลล์

ผลไม้ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ และเกลือแร่ต่าง ๆ ก็จะซึมออกสู่ภายนอกเซลล์ด้วย การที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในผลไม้ และการสูญเสียสารที่มีตามธรรมชาติบางส่วนออกไปอาจทำให้มีผลกระทบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Lazarides และคณะ, 1995)

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำออสโมซิส

การศึกษาวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาถึงผลของปัจจัยหลักของกระบวนการ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ อุณหภูมิ การกวนสารละลาย อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลาย ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และระยะความสุก รูปร่าง และขนาดชิ้นของผลไม้ ที่มีผลต่อกลไกของการถ่ายเทมวลสารในรูปของค่าการสูญเสียน้ำ [water loss (WL)] การเพิ่มปริมาณน้ำตาล [sugar gain (SG)] น้ำหนักที่ลดลง [weight reduction (WR)] และอัตราส่วนของการสูญเสียน้ำต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาล [water loss to sugar gain ratio (WL/SG)] และการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส

1. การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

Rahman (1995) ได้ศึกษาการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสในชิ้นสับปะรด เป็นเวลา 6 ชั่วโมงโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40, 50, 60 และ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะเพิ่มอัตราของการสูญเสียน้ำ เพิ่มปริมาณน้ำตาล น้ำหนักลดลง และเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งได้ผลในทำนองเดียวกันเมื่อทำการทดลองกับมะละกอและผักขึ้นฉ่าย (Wang และคณะ, 1999) และในกล้วยสุกที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 35, 50 และ 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่สูงขึ้น สามารถดึงน้ำออกจากกล้วยได้ดีกว่า และเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sankat และคณะ, 1997) แต่ Rahman (1995) ได้รายงานว่า การใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นต่ำจะให้ WL/SG สูงกว่าและสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ และให้ค่าการสูญเสียน้ำและน้ำหนักที่ลดลงน้อยกว่าสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 60 และ 50 องศาบริกซ์ สาเหตุอาจเกิดจากในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ เร่งให้เกิดชั้นของน้ำตาลรอบๆ ชิ้นสับปะรดอย่างรวดเร็วซึ่งจะมีผลต่อ concentration profile ของระบบ

2 การศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลาย

Rahman (1995) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลายน้ำตาล โดยการแช่ชิ้นสับปะรดในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการสูญเสียน้ำ (WL) และการเพิ่มปริมาณน้ำตาล (SG) จะเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำหนักของชิ้นผลไม้ (WR) และอัตราส่วนของการสูญเสียน้ำต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาล (WL/SG) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เช่นเดียวกับผลการทดลองที่ได้จากการศึกษากับมะละกอและผักขึ้นฉ่าย พบว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะให้ค่าการสูญเสียน้ำ (WL) และการเพิ่มปริมาณน้ำตาล (SG) สูงกว่าการทำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Wang และคณะ, 1999) อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับ sensitivity ของผลไม้แต่ละชนิด (Lazarides, 1995)

การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์บางชนิดได้ เช่น Fito และคณะ (1999) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ในการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสของชิ้นแอปเปิลทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติด้วย Mata และคณะ (1999)ได้ศึกษาการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสของชิ้นมะละกอ พบการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้มีการสูญเสียวิตามินซี และเกิดการเปลี่ยนสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.05$)

3. การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายออสโมติก

Rahman (1995) ได้ศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายน้ำตาลที่ใช้ โดยใช้อัตราส่วน 1:2, 1:4, 1:6, 1:8 และ 1:10 พบว่าการใช้อัตราส่วนสูงๆ (1:8 และ 1:10) จะเพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำ ปริมาณน้ำตาลและน้ำหนักที่ลดลงมากกว่าการใช้อัตราส่วนต่ำๆ แต่การใช้อัตราส่วนต่ำ (1:4 และ 1:6) กลับทำให้อัตราส่วนของการสูญเสียน้ำต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นด้วย

4. การศึกษาผลของการกวนสารละลาย ชนิดของผลไม้ พันธุ์ ระยะความสุก ขนาด และรูปร่างของผลไม้

การกวน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก เพราะการกวนสารละลายอย่างต่อเนื่องขณะที่แช่ผลไม้จะช่วยลดการสะสมของน้ำที่ซึมออกมาเกาะอยู่รอบๆ ชิ้นผักและผลไม้ ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการถ่ายเทมวลสาร อีกทั้งยังช่วยทำให้สารละลายมีอุณหภูมิเท่ากันและสม่ำเสมอกันอีกด้วย (Lazarides และคณะ, 1995)

ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และระยะการสุกจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างเซลล์ และเยื่อหุ้มเซลล์แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสที่ใช้ เช่น พบว่าชิ้นสับปะรดจะทำแห้งได้รวดเร็วกว่าชิ้นมะละกอและมะม่วง ผลไม้สุกจะทำได้รวดเร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่ถ้าสุกเกินไปเนื้อผลไม้จะเละทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำลง ซึ่งผลการทดลองในแอปเปิลจะชัดเจนกว่าการทดลองในเมลอนและมะม่วง (Pazz และคณะ, 1999) เนื่องจากมีความแตกต่างกันในด้านโครงสร้างของเนื้อเยื่อ นอกจากนั้นรูปร่างและขนาดของผลไม้จะมีผลต่ออัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร หากอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะซึมออกได้เร็ว และผลไม้ที่มีรูปร่างกลมปริมาณน้ำน่าจะซึมออกได้น้อยกว่ารูปร่างแท่ง (Cohen, 1999)

Ravindran (1989) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของชิ้นสับปะรดทั้งแบบวง (ring) และแบบลูกเต๋า (cube) อบแห้ง ที่ใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และกลูโคส+ฟรุกโตส ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน และใช้น้ำตาลร่วมกับเกลือ (0.5-2.0%) โดยตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ความชื้น a_w, % weight reduction, % moisture loss และ % solids gain รวมทั้งทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ สี กลิ่น และลักษณะปรากฏ พบว่ารูปร่างของชิ้นมีผล อย่างมีนัยสำคัญต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยที่ชิ้นรูปลูกเต๋ามีค่าการยอมรับดีกว่าแบบวงในทุกๆ ลักษณะ และยังพบว่าชนิดของสารละลายน้ำตาลไม่มีผลอย่างเด่นชัดต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ส่วนเกลือที่ใช้จะช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ข้อมูลยังไม่คงที่

Waloszewseski และคณะ (1996) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 50-70 องศาบริกซ์ พีเอช 6-8 และอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส มีความเร็วลม 0.5-1.5 เมตรต่อวินาที พบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลและพีเอชต่างไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสีในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

5. การศึกษาผลของชนิดตัวถูกละลายที่ใช้

ชนิดของตัวถูกละลายที่ใช้เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีการศึกษาเพื่อปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้งผักและผลไม้โดยอาศัยหลักการออสโมซิส การใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสจะช่วยดูดน้ำออกได้ดีกว่าสารละลายน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคส การศึกษา capillary infiltration ของตัวถูกละลายในการทำแห้งแครอท โดยใช้สารละลาย NaCl-Sucrose ที่อัตราส่วน 0:1, 1:1, 1:0 เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าการใช้น้ำตาลซูโครส (0:1) จะช่วยในการดูดน้ำออกเป็นหลัก (WL<75.4, SG<6.56) ในขณะที่ NaCl (1:0) จะเพิ่มการแทรกซึมของตัวถูกละลาย (WL<27.3, NaCl gain<16.4) (Delvalle และ Valenzuela, 1999) ผลการ

ศึกษาบางรายงานยังพบว่ามีการเกิด synergistic effect ระหว่างตัวถูกละลายที่ใช้ร่วมกัน เช่น การใช้สารละลาย salt-sorbitol ในการทดลองกับพริกหวาน พบว่า ปริมาณ salt uptake จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซอลบิทอล (Ozaslan และคณะ, 1999)

การศึกษาความแตกต่างของการใช้น้ำตาลซูโครส และ 38 DE Corn syrup solid (CSS) ซึ่งเตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้น 55 องศาบริกซ์ เพื่อใช้ในการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศปกติ เปรียบเทียบกับการทำ vacuum dehydrated ของแอปเปิล (Lazarides และคณะ, 1995) พบว่าการใช้สารละลาย CSS ทำให้สูญเสียน้ำตาลซูโครสที่มีอยู่เดิมในผลไม้เป็นจำนวนมาก แต่มีการสูญเสียน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคสไม่มากนัก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณน้ำตาลลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น ขณะที่การใช้น้ำตาลซูโครสเป็นตัวถูกละลายจะมีการสูญเสียน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคสออกไปบ้าง แต่จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลซูโครสอย่างมากมาย ทำให้ยังคงรักษาสมดุลของปริมาณน้ำตาลในผลไม้เอาไว้ได้

6. การศึกษาด้านอื่น ๆ

ผลงานวิจัยที่ศึกษาถึง Mathematic model ของกระบวนการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการทำแห้งโดยใช้หลักการออสโมซิสเท่าที่มีรายงาน เช่น Garcia และคณะ (1999) พบว่าการทำ osmotic dehydration ในชิ้นสับปะรดที่ออกแบบการทดลองให้เหมาะสมกับการสร้าง Mathematic model แบบ Exponential และ Polynomial โดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 50, 60 และ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พีเอช 6, 7 และ 8 ได้ค่า Diffusivity ของการแพร่ของน้ำ = 1.11×10^{-5} ถึง 2.7×10^{-5} ตารางเซนติเมตรต่อวินาที โดยน้ำตาลซูโครสมีค่า Diffusivify = 1.49×10^{-6} ถึง 3.15×10^{-5} ตารางเซนติเมตรต่อวินาที จาก Mathematic model ที่ได้มีค่า $R^2 = 0.94$ Garcia และคณะ (1999) จึงสรุปว่ากระบวนการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการทำแห้งโดยใช้หลักการออสโมซิสจะให้ค่า Diffusivity ของน้ำมากกว่าของน้ำตาลซูโครส เช่นเดียวกับการศึกษาในผล cranberries (Grabowski และ Marcotte, 1999) และการศึกษาในกล้วย (Senkat และคณะ, 1997)

Fito และคณะ (1999) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเนื้อเยื่อแอปเปิลขณะทำแห้งโดยใช้หลักการออสโมซิส พบว่าเนื้อเยื่อและปริมาตรของแอปเปิลมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยในช่วงแรกๆ ที่แรงขับยังสูงอยู่จะมีการไหลออกของน้ำเป็นจำนวนมาก ทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์ลดลง และในช่วงหลังพบว่าอากาศที่แทรกตามช่องว่างของเนื้อเยื่อจะน้อยลง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดการหดตัวและมีปริมาตรลดลง

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในด้านอื่น ๆ เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของกล้วย แอปเปิล และเมลอน ที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 39 และ 48 องศาบริกซ์ ที่เติมซอร์เบท 1000 ส่วนต่อล้านส่วน ไบซัลไฟต์ 150 ส่วนต่อล้านส่วน และปรับ พีเอช = 4.3 ด้วยกรดซิตริก และบรรจุในกระป๋อง Tin plate เคลือบด้วยแลกเกอร์ชนิด Epoxi-phenolic และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณน้ำลดลงและการเปลี่ยนแปลงด้านสีเพิ่มมากขึ้นใน 2 สัปดาห์แรก ลักษณะเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น 40% ในเวลา 8 สัปดาห์ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Pinheiro และคณะ, 1999)

Cohen และ Yang (1999) ได้ศึกษาศักยภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส ในแง่การเพิ่มคุณค่าทางอาหาร พร้อมกับได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักและปริมาตรลดลง ตลอดจนมีอายุการเก็บรักษาที่นานมากขึ้น โดยได้ศึกษาการแพร่ของสารอาหารเข้าไปในเซอรี บลูเบอรี และแครอท โดยใช้คาเฟอีนเป็นตัวแทนของสารอาหารในการทดลอง ซึ่งผสมลงไปในสารละลายที่ใช้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคาเฟอีนแทรกซึมเข้าไปในบลูเบอรี่ได้ 85-100% และในแครอทประมาณ 86-92%

การศึกษาสภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งผักและผลไม้บางชนิด

การศึกษาจำนวนไม่น้อยที่มุ่งเน้นในการหาสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสของผลไม้หรือผักชนิดต่างๆ Ozaslan และคณะ (1999) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง green-pepper ด้วยวิธีออสโมซิส โดยต้องการกระบวนการที่ทำให้มีการสูญเสียน้ำ (WL) สูงสุด และให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี โดยทดลองที่อุณหภูมิ 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 ถึง 600 นาที ด้วยสารละลาย NaCl (0-10% W/V) และซอลบิทอล (0.1% W/V) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการใช้ 7.5% NaCl และ 7.5% ซอลบิทอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที โดยให้ WL 26%, SG<5%, salt uptake<10% และ sorbitol uptake (3%)

ผลการศึกษาในมะละกอ โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ปรับ พีเอช = 2 ด้วยกรดฟอสฟอริก แล้วแช่ชิ้นมะละกอเป็นเวลานาน 10, 20 และ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบระหว่างการทำภายใต้ความดันบรรยากาศปกติและความดันสุญญากาศ (vacuum osmotic dehydration; VOD) พบว่ามะละกอที่ได้จากการทำภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะให้ปริมาณ SG ต่ำที่สุดและให้คะแนนการทดสอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและด้านรสชาติสูงที่สุด ซึ่งถือว่าเป็นสภาวะที่

เหมาะสมในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสของมะละกอที่มี พันธุ์ ระยะความสุก ขนาด และรูปร่างตามที่เตรียมไว้ (Mata และคณะ, 1999)

การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส

เนื่องจากในกระบวนการทำแห้งโดยใช้หลักการออสโมซิสนั้น โดยปกติจะทำให้มีอัตราการสูญเสียน้ำ (water loss) และน้ำหนักที่ลดลง (weight reduction) สูงเฉพาะในช่วงเวลาต้นๆ ของการแช่เท่านั้น (Rahman, 1995 ; Lazarides และคณะ, 1995) อีกทั้งปริมาณน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในชิ้นผลไม้มีจะผลต่อคุณภาพและการยอมรับในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาหาวิธีการเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ หรือลดข้อเสียเปรียบของกระบวนการทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส ตลอดจนการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้การทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิสร่วมกับกระบวนการอื่นๆ

Pazz และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของการใช้ระดับของสุญญากาศ ตั้งแต่ 120 ถึง 659 มิลลิบาร์ ในการทำแห้ง 10 นาทีแรก หลังจากนั้นจะใช้ความดันบรรยากาศต่อไปอีก 10 นาที โดยศึกษาในแอปเปิล มะม่วง และเมลอน โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40 และ 60 องศาบริกซ์ และอัตราส่วนของผลไม้ต่อสารละลายน้ำตาล = 1:10 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศจะลด water activity (a_w) ของผลไม้ลงได้มากกว่าการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ และการเพิ่มระดับของสุญญากาศจะลดค่า a_w ได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.05$)

การทำ Osmotic dehydration (OD) Vacuum osmotic dehydration (VOD) และ Pulse vacuum osmotic dehydration (PVOD) ในมะละกอและผักขึ้นฉ่าย โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 25, 40 และ 55 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 25, 40 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ระดับสุญญากาศที่ใช้ใน VOD และ PVOD เท่ากับ 0, 253 และ 506 มิลลิเมตรปรอท โดยในการทำ PVOD จะลดความดันเป็นจังหวะๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 ครั้งต่อนาที จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าทั้ง VOD และ PVOD สามารถเพิ่ม dehydration rate และค่า SG ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.05$) และการทำ PVOD จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้น ดังนั้น PVOD จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ VOD (Wang และคณะ, 1999)

Lazarides และคณะ (1995) ได้ศึกษาการใช้กระบวนการแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ –40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ชิ้นแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสมาระยะหนึ่งแล้ว คือผ่านการแช่ในสารละลาย Corn syrup solid (CSS) ความเข้มข้น 55 องศาบริกซ์

เป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นแอปเปิลที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วมาหลอมละลาย (thawing) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำชิ้นแอปเปิลที่ได้มาแช่ในสารละลายต่อจนครบ 5 ชั่วโมง พบว่าการ freeze/thawing ไม่มีผลใดๆ ในการเพิ่มอัตราของ WL แต่กลับเพิ่มอัตราของ SG อย่างมาก ดังนั้น Lazarides และคณะ (1995) จึงสรุปว่า การทำ freeze/thawing ไม่สามารถใช้เป็น intermediate step ในการเพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำ หรือช่วยชะลอการลดลงของอัตราการสูญเสียน้ำได้ อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาของการทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิสชิ้นสับปะรดก่อนการแช่เยือกแข็งยิ่งมากจะช่วยลด exudation loss จากการละลายได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.05$) ซึ่งมีประโยชน์ในกระบวนการแช่เยือกแข็งผักและผลไม้ที่มีปริมาณน้ำสูง

Robbers และคณะ (1997) ได้เปรียบเทียบผลของการทำแห้งผลกีวีโดยใช้การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส, การทำแห้งโดยใช้ลมร้อน และการทำแห้งแบบผสม โดยลดปริมาณน้ำออกบางส่วนก่อนการใช้ลมร้อน หลังจากนั้นจึงใช้การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส ลดปริมาณน้ำจนถึงระดับที่ต้องการ พบว่าการทำแห้งแบบผสมให้อัตราของ WL สูงที่สุดและลดการสูญเสียของวิตามินซีและน้ำตาลในผลไม้ได้ดีกว่าการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส และการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน จะใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยที่สุด รองลงมาคือการทำแห้งแบบผสม และการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสจะใช้เวลานานที่สุด (ที่ความชื้นสุดท้ายของผลกีวีเท่ากัน) ค่าความแน่นเนื้อของผลกีวีที่ทำแห้งโดยใช้ลมร้อน และการทำแห้งแบบผสมมีค่าสูงกว่าการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส อย่างไรก็ตามผลกีวีแห้งที่ได้จากการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนมีการสูญเสียวิตามินซีค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มที่จะมีสีคล้ำขึ้นในขณะที่การทำแห้งแบบผสม ส่วนการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสมีแนวโน้มเพิ่มสีเหลืองและเขียวในผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย

ผลการศึกษาของ Sanket และคณะ (1997) พบว่าเมื่อลดความชื้นในชิ้นกล้วยลงส่วนหนึ่งด้วยวิธีออสโมซิสแล้วทำให้แห้งถึงความชื้นที่ต้องการด้วยลมร้อน จะได้ชิ้นกล้วยที่มีสีเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏที่ดีมากกว่ากล้วยที่ผ่านการทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว

ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่

ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่จะแปรผันไปตามสายพันธุ์ ระยะความแก่-อ่อน พื้นที่เพาะปลูก และการดูแลระหว่างการเพาะปลูก โดยพบว่าผลลิ้นจี่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 77-83 % ลิ้นจี่สายพันธุ์ Brewster และ Kwai Mi มีปริมาณความชื้น 81 % และ 77.6 % ตามลำดับ ส่วนผลลิ้นจี่ 6 สายพันธุ์ในประเทศอินเดียมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 83-87 % โปรตีนในลิ้นจี่ทั่วไปอยู่ในช่วง 0.8-1.5 % และไขมันน้อยกว่า 1 % ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของลิ้นจี่ 23 สายพันธุ์ ที่

ปลูกในประเทศไต้หวันมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 14.0-20.3 % ลิ้นจี่สดสายพันธุ์ Brewster มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 16.8 % ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส ประมาณ 51.1 % ที่เหลืออีก 30.1 % และ 18.8 % เป็นน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส ตามลำดับ (Chan and Kwok, 1975)

ผลลิ้นจี่ 12 สายพันธุ์ ในประเทศอินเดียมีปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.20-0.64 % ส่วนผลลิ้นจี่สดสายพันธุ์ Brewster มีปริมาณกรดทั้งหมด 0.52 % โดยกรดมาลิกเป็นกรดอินทรีย์ที่มีมากที่สุดประมาณ 80 % รองลงมาได้แก่ กรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกมีอยู่ประมาณ 10 % และ 5 % ตามลำดับ กรดที่มีปริมาณเล็กน้อยได้แก่ กรดซักซินิก มาโลนิก ฟอสฟอริก แลคติก กลูตาลิก และ ลีวูลินิก (Somogyi and Luh, 1986)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สด และลิ้นจี่อบแห้ง ในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ลิ้นจี่สด	ลิ้นจี่อบแห้ง
พลังงาน (แคลอรี)	63.0-64.0	277.0
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ ต่อ 100 กรัม)	81.90-84.83	17.90-22.30
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	0.68-1.00	2.90-3.80
ไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.30-0.58	0.20-1.2
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)	13.31-16.40	70.70-77.50
เส้นใยอาหาร (กรัม/100 กรัม)	0.23-0.40	1.40
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	0.37-0.50	1.50-2.00
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	8.0-10.0	33.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	30.0-42.0	-
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.4	1.7
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	3.0	3.0
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	170.0	1,100
วิตามินบี 1 (ไทอามิน) (ไมโครกรัม/100 กรัม)	28.0	-
วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.40	-
วิตามินบี 6 (กรดนิโคตินิก) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.05	0.05
วิตามินซี (กรดแอสคอร์บิก) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	24.0-60.0	42.0

ที่มา : www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/lychee.html โดย Purdue University Center for New Crops α Plant Produces (1999)