บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขนุน

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ขนุนเป็นไม้ผลยืนต้นอยู่ในวงศ์ Moraceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus heterophyllus* Lam. มีชื่ออื่นว่า มะหนุน หนุน (เหนือ,ใต้) หมักหมี่ (อีสาน) นากอ ชะนู (จันทบุรี) ขนุนเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงใหญ่สูงประมาณ 8-15 เมตร มียางขาวทั้งต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน แก่นสีเหลือง ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับ แผ่นใบรูปรี ขนาดกว้าง 5-8 เซนติเมตร ยาว 10-15 เซนติเมตร ก้านใบยาว 12.5 เซนติเมตร ปลายใบทู่ถึงแหลม โคนใบมน ผิวด้านหลังใบสีเขียวเข้มเป็นมัน เนื้อใบหนา ผิวใบด้าน ท้องใบจะสากมือ ดอกเป็นช่อแบบช่อเชิงลดแยกเพศอยู่บนต้นเดียวกัน ช่อดอกตัวผู้ออกที่โคนกิ่ง ลำต้น ง่ามใบ ลักษณะของดอกเป็นแท่งยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร ช่อดอกตัวเมียเป็นแท่งกลมออกจากลำต้น ก้านขนาดใหญ่ ดอกตัวผู้มีกลิ่นหอมคล้ายส่าเหล้า ส่วนของเนื้อที่รับประทานเจริญมาจากกลีบดอก ผลเป็นผลรวม ผลกลมและยาว มีขนาดใหญ่ หนัก 10-60 กิโลกรัม ในหนึ่งผลใหญ่จะมีผลย่อยหลายผล เมล็ดกลมรี เนื้อหุ้มเมล็ดสีเหลือง ถ้าสุกมีกลิ่นหอมเปลือกหุ้มเมล็ดบางรับประทานได้

พันธุ์ขนุนที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือ พันธุ์ทองสุดใจ พันธุ์จำปากรอบ พันธุ์ทองประเสริฐ พันธุ์เหรียญทอง และพันธุ์เหลืองพิชัย เป็นต้น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2546) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐเป็นขนุนทะวายอีกพันธุ์หนึ่งในหลายๆ พันธุ์ มีจุดเด่นคือ ให้ลูกเร็ว อายุการเลี้ยงลูกสั้น มีเปอร์เซ็นต์เนื้อมาก เนื้อแข็ง เก็บไว้ได้นาน ทรงลูกสวย รสหวาน และที่สำคัญให้ลูกดกตลอดทั้งปี ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐมีลักษณะทรงต้นจะมีทรงพุ่งสูงโปร่ง ใบมีขนาดใหญ่ กลม ปลายใบมัน มีสีเขียวเข้มเห็นเส้นใบชัด ดังภาพที่ 2-1 ลูกมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่ละลูกมีน้ำหนักประมาณ 15-18 กิโลกรัม หนามมีขนาดใหญ่ปลายหนามเรียบ มีสีเขียว บางครั้งมีสีน้ำตาลที่หนามเหนียวแก่ เปลือกบาง ยวงมีรูปร่างกลมรีค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังภาพที่ 2-2 เนื้อหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร มีสีเหลือง รสหวานปานกลาง วัดความหวานได้ 18 องศาบริกซ์ เนื้อแน่น เมล็ดมีขนาดเล็ก มีช้องน้อย ไส้กลางใหญ่ และมีปริมาณเนื้อมากคือ ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ มีจุดด้อยเล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนุนพันธุ์อื่น จะมีปัญหาเนื้อเป็นสนิมและปัญหากิ่งและลำต้น เกิดโรคจากเชื้อรา (กองบรรณาธิการเมืองเกษตร, 2541)

ภาพที่ 2-1 ต้นขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ
ที่มา : Bansuanporpeang (2011)

ภาพที่ 2-2 ผลขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ
ที่มา : Tummydeday (2011)

2.1.2 การพิจารณาความแก่อ่อนของขนุน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

ลักษณะของผลขนุนที่ดี สังเกตได้จาก ขนาดของผลใหญ่สม่ำเสมอ ผิวด้านนอกตึงโดยรอบ การผสมเกสรดี ทำให้ผลโตไม่คอด หรือบิดเบี้ยว ยวงมีขนาดใหญ่ เนื้อมีรสชาติหวานกรอบ หนา ไม่

และ ไส้กลางของผลมีขนาดเล็ก เมล็ดเล็ก เพื่อความถูกต้องและแม่นยำอาจต้องใช้หลายวิธีประกอบกันก่อนพิจารณาตัดขนุนจึงจะทำให้ได้ขนุนแก่คุณภาพดี วิธีสังเกตว่าขนุนแก่สามารถสังเกตได้ดังนี้

1) สังเกตใบเลี้ยงซึ่งอยู่เหนือผลนั้นร่วงแล้ว ถ้าร่วงแสดงว่าผลแก่

2) สังเกตจากตาหนามของผลที่ขยายห่าง ถ้าห่างมากและปลายหนามแห้ง เป็นสีน้ำตาลดำ ตัวหนามแบนราบมองเห็นปลายหนามแห้งเป็นจุดดำ ๆ

3) ผลขนุนที่สุกจะมีสีผิวเหลืองเข้มมากขึ้นในบางพันธุ์แต่บางพันธุ์ที่มีสีเขียวก็จะสีเขียวลง หรือออกไปทางสีเหลือง

4) ใช้ในการทดสอบโดยเอามีดกรีดบริเวณขั้วของผล ถ้าผลสุกจะมียางไหลออกมาน้อยและมีลักษณะ ใส ถ้ายางไหลออกมามาก ข้นเป็นสีขาว แสดงว่ายังไม่แก่

5) ใช้การนับอายุของผล ตั้งแต่ดอกเริ่มผสมติดจนผลแก่ประมาณ 120 – 160 วัน

6) ใช้วิธีเคาะฟังเสียงถ้ามีเสียงดังปุ ๆ แสดงว่าผลแก่

2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณของขนุน

คุณค่าทางโภชนาการของขนุนที่ระดับความสุก 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของเนื้อขนุนแก่ ซังขนุน และเมล็ดขนุน แสดงดังตารางที่ 2-1 พบว่าเนื้อขนุนมีปริมาณความชื้นสูง มีปริมาณแร่ธาตุและวิตามินหลายชนิด โดยในส่วนซังขนุนมีแร่ธาตุและวิตามินน้อยกว่า ยกเว้นวิตามินซี ขนุนมีสรรพคุณ ช่วยบำรุงร่างกาย ขับน้ำนม แก้ท้องเสีย ขับพยาธิ ระงับประสาท สำหรับส่วนที่เป็นประโยชน์ของขนุน ได้แก่ เมล็ด ผลอ่อน ผลสุก ใบสด ยาง ราก และแก่นไม้ ซึ่งแต่ละส่วนก็จะมีสรรพคุณแตกต่างกันไป ดังนี้ เมล็ดขนุน ต้มสุกใช้รับประทานเพื่อบำรุงร่างกาย เพราะมีคาร์โบไฮเดรตสูง นอกจากนี้ยังช่วยขับน้ำนมหลังคลอดได้ ผลอ่อนขนุน มีวิตามินเกลือแร่ไม่มากนัก แต่มีใยอาหารสูงมาก ช่วยในการรักษาแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้ (มูลนิธิสุขภาพไทย, ม.ป.ป.) มีฤทธิ์เป็นยาฝาดสมาน ใช้แก้อาการท้องเสีย มีผู้นิยมนำผลอ่อนของขนุนไปใช้เป็นวัสดุในการแกงซึ่งให้รสชาติอร่อย ผลขนุนสุก ใช้ในการรักษาโรคเกี่ยวกับทรวงอก และมีฤทธิ์เป็นยาระบายอ่อนๆ ใบสด ใช้ในช่วยขับน้ำนม ยางขนุน ใช้รักษาโรคซิฟิลิส และใช้ขับพยาธิ รากขนุน ใช้ต้มกับน้ำแล้วนำน้ำที่ได้มาดื่มเพื่อรักษาอาการท้องเสีย แก่นไม้ ใช้บำรุงกำลัง บำรุงเลือด รักษากามโรค ระงับประสาทและโรคลมชัก (สมุนไพรการแพทย์แผนไทย, 2540)

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของขนุนแก่ ซังขนุน และเมล็ดขนุนดิบ (กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, 2527)

องค์ประกอบ	ขนุนแก่	ซังขนุน	เมล็ดขนุนดิบ
ความชื้น (ร้อยละ)	72.90	66.60	60.70
ไขมัน (ร้อยละ)	0.30	0.00	0.20
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	23.70	29.20	30.60

ใยอาหาร (ร้อยละ)	0.90	1.80	1.60
โปรตีน (ร้อยละ)	1.70	1.40	5.50
พลังงานความร้อน (kcal/100g)	94.00	122.00	146.00
แคลเซียม (mg/100g)	27.00	21.00	0.00
ฟอสฟอรัส (mg/100g)	38.00	13.00	105.00
เหล็ก (mg/100g)	0.60	0.20	2.90
วิตามินบี 1 (mg/100g)	0.09	0.08	1.74
วิตามินบี 2 (mg/100g)	0.11	0.15	0.02
วิตามินซี (mg/100g)	9.00	13.00	3.25
ไนอาซิน (mg/100g)	0.70	-	24.00
วิตามินเอ (หน่วยสากล IU)	392.00	-	22.00

2.2 การแปรรูปขนุน

จากการค้นคว้าข้อมูล พบว่ามีการนำขนุนมาแปรรูปเพื่อการจำหน่ายและมีการแนะนำการแปรรูปขนุนจากผลงานวิจัยต่างๆ รวบรวมได้ดังนี้

1) แป้งเมล็ดขนุน

ดาราวรรณ์ จันทิมา (2554) นักวิจัยจากวิทยาลัยอาชีวศึกษาธนบุรี เล็งเห็นคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดขนุนและเนื้อแป้งจากเมล็ดขนุนที่มีรสชาติดีใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียวที่นิยมนำมาใช้ทำขนม จึงพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งจากเมล็ดขนุน ด้วยการนำเมล็ดขนุนดิบต้มสุก บดให้ละเอียด นำไปอบแห้งก็จะได้แป้งสำเร็จรูปจากเมล็ดขนุน นำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยต่างๆได้

2) ขนุนกรอบครองแครง

ทวารัตน์ ธรรมรัตนานันท์ (2546) กล่าวว่า สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนุนกรอบครองแครงเป็นขนมของว่างได้โดยเลือกขนุนที่มีความแก่ ระดับความสุก 70 เปอร์เซ็นต์ สังเกตที่ผิวของขนุนจะเป็นเส้นสีน้ำตาลยังไม่ดำ ตาเริ่มแตกเป็นสีน้ำตาล ผิวของเปลือกยังไม่บาง ได้ขนุนมาแล้วนำมาปอกเปลือก ล้างยางด้วยน้ำสะอาด แกะเอาแต่เนื้อออกมาให้ติดเมล็ดเพื่อความสะดวกในการฝานเนื้อ เนื้อของขนุนจะมีลักษณะเป็นแป้ง ชิมดูจะมีรสจืด ยังไม่มีรสหวานเหมือนขนุนตัดสุก นำเนื้อขนุนมาหั่นเป็นเส้น ความหนาตามเนื้อของขนุน นำไปทอดในน้ำมันปาล์มที่ร้อนจัดให้เนื้อขนุนนั้นกรอบแล้วก็นำขึ้นมาให้สะเด็ดน้ำมัน หลังจากนั้นคลุกเคล้ากับพริกไทย เกลือป่น น้ำตาลโตนด และพริกไทยกับรากผักชีที่ตำรวมกัน นำเข้าไปอบในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อบไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3) ชังขนุนปรุงรสอบกรอบ

จันทร์จรัสศรี สุขสวัสดิ์ และจุฑามาศ ศรีลาพันธ์ (2553) แนะนำว่าสามารถนำชังขนุนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่สำหรับผู้รักสุขภาพและผู้ที่ชื่นชอบของทานเล่น หรือนำไปใช้เป็นแนวทางในการประกอบอาชีพเพื่อสร้างรายได้ให้กับครอบครัวอีกทาง ขั้นตอนในการทำ คือ นำกรดซิตริกผสมกับน้ำปูนใส จากนั้นนำชังขนุนที่ได้นำมาแช่นาน 30 นาที เพื่อกำจัดยางและทำให้ชังขนุนแข็ง และมีความกรอบเพิ่มขึ้น ต้มน้ำให้เดือด แล้วนำชังขนุนไปลวก 1 นาที ตักขึ้น พักไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำชังขนุนที่ลวกคลุกเคล้ากับผงปรุงรสให้เข้ากัน นำเข้าอบในเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบ 1 ชั่วโมง ระหว่างที่อบให้พลิกกลับด้านชังขนุนให้ทั่ว เพื่อที่จะได้กรอบทั่วกัน จากนั้นนำชังขนุนออกจากเตาอบผึ่งบนตะแกรงให้หายร้อน

4) ขนุนทอดกรอบอบเนย

บุญรวม เปรมปริก (2553) แนะนำการแปรรูปขนุนทอดกรอบอบเนยว่าสามารถทำได้โดยเลือกขนุนเนื้อหนาอย่างพันธุ์ทองประเสริฐ ที่มีอายุเหมาะสมนำมาปอกเปลือกนอก แกะยวง ผ่าเอาเมล็ดออก นำมาสไลด์เป็นแผ่นบางๆ เมื่อได้ขนุนแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นเตรียมทำน้ำเชื่อมโดยคำนวณจากส่วนประกอบทั้งหมด ขนุน 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 3 เปอร์เซ็นต์ เนย 1.5 เปอร์เซ็นต์ เกลืออนามัย 0.5 เปอร์เซ็นต์ นำไปต้มในน้ำจนละลายหมดยกลงจากเตาแล้วพักไว้ ตั้งน้ำมันในกระทะด้วยไฟค่อนข้างแรง นำขนุนที่เตรียมไว้ใส่ลงไปประมาณ 1 กิโลกรัม ตักน้ำเชื่อมที่เตรียมไว้ ราดลงในกระทะ 1 กระบวย ทอดจนเหลืองพอดี สังเกตฟองน้ำจะหมดไป ใช้เวลาประมาณ 7 นาที ตักขึ้นมาเขย่าเบาๆ ให้น้ำมันหยดลงในกระทะก่อนเทลงในตะกร้า ใช้ไม้คนเพื่อให้แต่ละชิ้นแยกออกจากกัน เมื่อเย็นแล้วรีบบรรจุถุงทันที เพื่อป้องกันความชื้น ผลิตภัณฑ์ขนุนทอดกรอบอบเนย เก็บในภาชนะปิดสนิท ได้นาน 45 วัน หรือ 1 เดือนครึ่ง

5) ขนุนกวน

ธารธรรมแก้ว เชื้อเมือง (2547) แนะนำวิธีการนำขนุน มาแปรรูปเป็นขนุนกวน ได้โดยนำขนุนสุกหั่นแต่เนื้อเป็นชิ้นเล็กๆ ส่วนเมล็ดนำไปต้มและยีให้ละเอียด แล้วนำไปรวมกันนำ มาใส่หัวกะทิและน้ำตาลตั้งไฟอ่อน ๆ กวนด้วยไม้พายจนเหนียวนำมาปั้นห่อด้วยกระดาษแก้ว หรือพลาสติกม้วนเป็นทรงกระบอกปิดหัวท้าย เก็บไว้ได้นานรับประทานง่าย

6) ขนุนแช่อิ่มอบแห้ง

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2546) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรผู้ปลูกขนุน ซึ่งเป็นผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดหนึ่ง มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีผิวนอกแห้ง เนื้อในนุ่ม รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นานโดยไม่เกิดการเน่าเสียและขึ้นรา สามารถทำจากเนื้อขนุนห่ามไม่สุกงอม และขนุนพันธุ์ทองประเสริฐสามารถนำมาแปรรูปเป็นขนุนแช่อิ่มอบแห้ง หรือ ขนุนแห้งได้

2.3 การสุกของผลไม้ (ดนัย บุณยเกียรติ, 2531)

ผลไม้ คือส่วนของดอกที่ได้รับการผสมแล้วเจริญเติบโตไปเป็นผลนำมาบริโภคเป็นของหวาน แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) Climacteric fruits คือ ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงขึ้นในขณะที่กำลังจะสุก และอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลงหลังจากที่ผลไม้นั้นสุกแล้ว ตัวอย่างของผลไม้ในกลุ่มนี้ ได้แก่ มะม่วง ขนุน ทุเรียน มะละกอ และน้อยหน่า เป็นต้น

2) Non-climacteric fruits คือ ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสม่ำเสมอ และอัตราการหายใจจะค่อยๆลดลงตั้งแต่ผลไม้อ่อนจนถึงแก่ ตัวอย่างผลไม้ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เงาะ มะนาว และลำไย เป็นต้น

การสุกของผลไม้เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทั้งทางสรีรวิทยา ทางกายภาพ และทางเคมี เป็นกระบวนการที่มีปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆเกิดขึ้นมากมายภายในเซลล์ของเนื้อผลไม้ ซึ่งผลไม้แต่ละชนิดอาจมีปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นบางอย่างเหมือนกันและบางอย่างก็ไม่เหมือนกัน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้มีดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีต่างๆทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นมากมายเช่น มีการเปลี่ยนสีผิวของผลไม้ คือ เกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุของสีผิวและเนื้อผลไม้ มีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และมีการสังเคราะห์รงควัตถุขึ้นใหม่ เช่น มีการสังเคราะห์ไลโคปีน (Lycopene) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงในผลมะเขือเทศ เป็นต้น

2) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาด น้ำหนัก และความแน่นเนื้อ ซึ่งจะแปรผันไปตามชนิดของผลไม้และระยะการสุก

3) การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เป็นผลของกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ ผลไม้ในระยะการเจริญเติบโตเมตาบอลิซึมภายในเซลล์จะเป็นการสังเคราะห์มากกว่าการสลายเซลล์ของผลไม้จำเป็นต้องใช้พลังงานสูง ทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้นด้วย เมื่ออัตราการเจริญเติบโตช้าลง อัตราการหายใจของผลไม้จะค่อย ๆ ลดลงด้วย

2.4 การลวก (วิไล รังสาดทอง, 2543)

การลวกเป็นกระบวนการที่ใช้ทำลายการทำงานของเอนไซม์ในผัก และผลไม้บางชนิดก่อนการแปรรูปหรือเพื่อป้องกันการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษา ขั้นตอนนี้มักเป็นขั้น ตอนหนึ่งในการเตรียมวัตถุดิบก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการต่อไป เช่น การสเตอริไรซ์ การทำแห้ง หรือการแช่เยือกแข็ง ขั้นตอนการลวกมักอยู่ร่วมกับการปอกเปลือกหรือการทำความสะอาดด้วยทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน สถานที่ และการลงทุนเรื่องเครื่องมือ

มีผักจำนวนไม่กี่ชนิด เช่น หอมหัวใหญ่ ที่ไม่ต้องผ่านการลวก แต่ผักผลไม้ส่วนใหญ่จะเสื่อมสภาพได้โดยง่ายถ้าไม่ผ่านกระบวนการนี้ การลวกนี้ทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาที่ตั้งไว้ และทำให้เย็นโดยเร็วที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาในการลวก

ได้แก่

- ชนิดของผักหรือผลไม้
- ขนาดของชิ้นอาหาร
- อุณหภูมิของการลวก
- วิธีให้ความร้อน

2.4.1. การทำงานของเอนไซม์

อุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการแช่เยือกแข็งและการทำให้แห้งนั้นไม่เพียงพอในการทำลายเอนไซม์ได้ การไม่ลวกอาหารก่อนอาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการในระหว่างการเก็บรักษาได้ ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เช่น การสเตอริไรซ์อาหารกระป๋องขนาดใหญ่นั้น ถ้าไม่มีการลวกอาหารก่อนอาจเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นเพราะต้องใช้เวลานานพอสมควรกว่าอุณหภูมิภายในกระป๋องจะเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่ต้องการ การลวกอาหารอย่างไม่สมบูรณ์อาจทำให้เกิดผลเสียมากกว่าการไม่ลวก เนื่องจากอาจเป็นการให้ความร้อนที่เพียงพอต่อการทำลายเนื้อเยื่อของอาหารแต่ไม่สามารถทำลายเอนไซม์ได้ จึงทำให้เอนไซม์กับสารตั้งต้นรวมตัวกันได้ง่ายยิ่งขึ้น นอกจากนั้นการทำลายเอนไซม์ชนิดหนึ่งอาจจะไปเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ชนิดอื่นและเร่งให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียมากยิ่งขึ้น

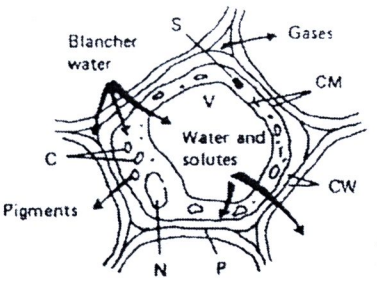
2.4.2. วัตถุประสงค์อื่นๆในการลวก

การลวกเป็นการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวของอาหาร จึงเป็นการช่วยทำให้การถนอมรักษาอาหารขั้นต่อไปง่ายขึ้น ปฏิบัติการเฉพาะหน่วยนี้สำคัญมากโดยเฉพาะในกระบวนการสเตอริไรซ์ซึ่งมีการกำหนดเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามที่ต้องการ ถ้าอาหารผ่านการลวกไม่สมบูรณ์ก็จะทำให้มีเชื้อจุลินทรีย์แรกเริ่มในปริมาณสูง ซึ่งอาจส่งให้ให้มีอาหารกระป๋องเสื่อมเสียคุณภาพหลังการบรรจุจำนวนมากเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการลวกจะไม่ถูกทำลายและสามารถที่จะเจริญต่อไปได้หลังการคืนตัวหรือการละลายน้ำแข็ง (thawing) อาจพบปัญหาที่คล้ายคลึงกันแต่รุนแรงน้อยกว่าในอาหารที่ทำให้แห้งโดยไม่ผ่านการลวกก่อน

การลวกเป็นการทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้นุ่มขึ้นและมีปริมาณลดลง ช่วยให้บรรจุอาหารลงในภาชนะได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นยังเป็นการไล่อากาศที่มีอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) ช่วยทำให้เกิดสุญญากาศในกระป๋องได้ง่ายขึ้น รวมทั้งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับผลิตภัณฑ์ก่อนเข้ากระบวนการแปรรูปต่อไป การลวกมีผลทำให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นและทำให้ปอกเปลือกได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามการลวกมีข้อเสียคือทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารโดยเฉพาะวิตามินต่างๆ

2.4.3. ผลกระทบของการลวกต่ออาหาร

ความร้อนที่ใช้ในการลวกอาหารมีผลต่อคุณสมบัติด้านโภชนาการ และกลิ่นรสของอาหารอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนยังไม่รุนแรงเท่ากับการสเตอริไรซ์ ดังนั้นจึงมีผลต่อคุณภาพของอาหารน้อยกว่า โดยทั่วไปการควบคุมเวลาและอุณหภูมิในการลวกจะถูกออก แบบให้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้อย่างเพียงพอเพื่อให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสหรือลักษณะเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด ภาพที่ 2-3 แสดงผลการลวกต่อเนื้อเยื่อเซลล์



ภาพที่ 2-3 ผลของการลวกต่อเนื้อเยื่อเซลล์
ที่มา : วิไล รังสาดทอง (2543)

2.4.3.1 สารอาหาร

มีสารอาหารหลายชนิด เช่น วิตามิน เกลือแร่ และสารอาหารที่ละลายน้ำที่เกิดการสูญเสียระหว่างการลวก การสูญเสียวิตามินส่วนใหญ่เกิดจากการชะล้าง การถูกทำลายโดยความร้อน และการสูญเสียในปริมาณที่ไม่มากนักจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การสูญเสียดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความสุก และชนิดของอาหาร
- วิธีการเตรียมอาหาร โดยเฉพาะการตัด การฝานเป็นแผ่นบางๆ หรือตัดเป็นลูกเต๋า
- วิธีลวก
- อุณหภูมิ และเวลาในการลวก การลวกโดยอุณหภูมิสูงแต่ใช้เวลาสั้นกว่าทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินน้อยกว่าการลวกที่อุณหภูมิต่ำกว่าแต่ใช้เวลานานกว่า
- วิธีทำให้เย็น
- อัตราส่วนน้ำที่ใช้ต่ออาหาร ทั้งในการลวก และการทำให้เย็นด้วยน้ำ

2.4.3.2 สีและกลิ่น

การลวกทำให้อาหารบางชนิดมีสีสดใสขึ้นเนื่องจากการจำกัดอากาศ และฝุ่นบนผิวทำให้ค่าความยาวคลื่นของแสงสะท้อนเปลี่ยนไป อุณหภูมิ และเวลาก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุในอาหาร เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงนิยมเติมโซเดียมคาร์บอเนต (ร้อยละ 0.125 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) หรือ แคลเซียมออกไซด์ลงในน้ำที่ใช้ในการลวกเพื่อป้องกันการทำลายคลอโรฟิลล์ ผักจึงยังคงความเขียวไว้ได้ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ของแอปเปิ้ลหรือ มันฝรั่งชิ้นป้องกันได้โดยการแช่อาหารลงในน้ำเกลือเจือจาง (ร้อยละ 2 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ก่อนการลวก ถ้าทำการลวกอย่างเหมาะสมจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสอย่างเด่นชัด แต่การลวกโดยไม่สมบูรณ์สามารถทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแห้งหรือ อาหารแช่เข็ง

2.4.3.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

วัตถุประสงค์อีกข้อหนึ่งในการลวกก็คือ การทำให้เนื้อเยื่อของผักนุ่มขึ้นทำให้บรรจุอาหารลงกระป๋องง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามเวลา และอุณหภูมิซึ่งสามารถทำลายการทำงานของเอนไซม์ในอาหารในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง หรือทำให้แห้งอาจทำให้เกิดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เช่น มันฝรั่งบางชนิดหรือแม้แต่ในอาหารชิ้นใหญ่ๆ การลวกผักส่วนใหญ่จะใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำ แต่สำหรับผลไม้มักมีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำสำหรับลวก เพื่อทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนแคลเซียมเพคเตท (calcium pectate) ซึ่งไม่ละลายน้ำจึงสามารถรักษาเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อพืชให้ความแน่นกรอบได้ บอกจากนี้ยังสามารถใช้สารเพิ่มความข้นประเภทคอล ลอยด์ (colloidal thickener) เช่น เพคติน คาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส และแอลจิเนต เพื่อช่วยให้ผลไม้กรอบแน่นขึ้นหลังการลวก

โดยทั่วไปจะไม่ลวกผลไม้แช่แข็งที่จะไม่มีการให้ความร้อนใดๆ ก่อนนำมาบริโภค เพราะการลวกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงปรารถนาด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรส แต่จะมีการใช้เทคนิคอื่นเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล และการออกซิเดชันของวิตามินซี เช่น ใช้สารเคมีเพื่อหยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์ หลีกเลี่ยงการสัมผัสออกซิเจน หรือเติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน

2.5 การดึงน้ำออกแบบออสโมซิส

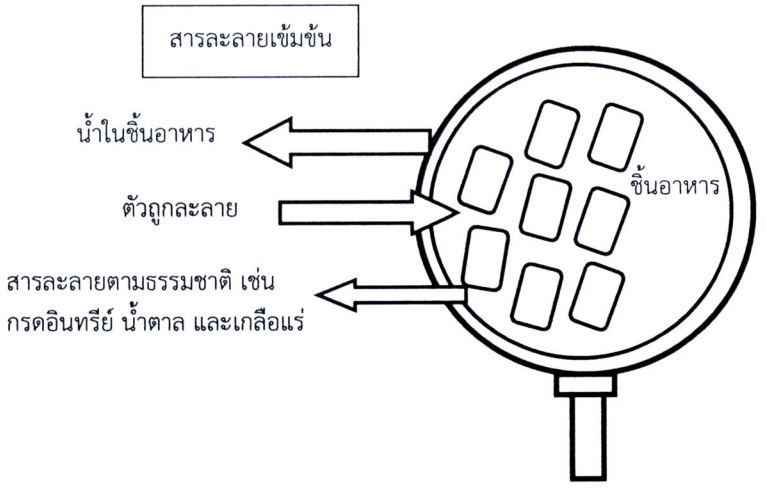
การดึงน้ำออกแบบออสโมซิส (Osmotic dehydration) ดำเนินการโดยแช่อาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งนิยมใช้น้ำตาลหรือเกลือ ซึ่งการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส มีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพื่อทำให้กระบวนการผลิตสมบูรณ์ยิ่งขึ้น หลักการพื้นฐานของการออสโมซิสเกี่ยวข้องกับเซลล์ (ของพืชผักหรือผลไม้) ที่ถูกแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จึงทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนน้ำให้ออกจากชิ้นอาหาร เนื่องจากเกิดแรงดัน ออสโมติกที่สูง (มีค่า a_w ต่ำกว่า) ในสารละลายออสโมติกโดยเซลล์ของอาหารทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านที่เรียกว่า semi-permeable membrane ซึ่งตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจะเคลื่อนที่เข้าไปในชิ้นของอาหาร ดังนั้นการทำแห้งแบบออสโมติก จึงให้นิยามได้ว่าการออสโมซิสเป็นการถ่ายเทมวลของสารแบบสวนทางกัน (Lenart and Flink, 1984) โดยน้ำที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ชิ้นอาหารในลักษณะสวนทางกันและจะเกิดสภาวะเช่นนี้จนเข้าสู่สมดุลของสารละลายทั้งสอง นอกจากนี้สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์โดยธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ เกลือแร่ จะแพร่ออกนอกเซลล์ด้วย (Torreggiani, 1993) เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (Counter-current mass transfer) ดังนี้คือ

- น้ำภายในเซลล์ของผักผลไม้ จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก

- ขณะเดียวกันตัวถูกละลายภายนอก เช่นน้ำตาลหรือเกลือจะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้หรือเนื้อผักผลไม้

- สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ (Natural soluble substance) เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก

เซลล์ของผักผลไม้ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านจะยอมให้น้ำแพร่ผ่านมากกว่าตัวถูกละลาย เนื่องจากตัวถูกละลายมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นน้ำจะแพร่กระจายออกจากเซลล์ผักผลไม้ได้มากกว่า การแพร่กระจายตัวถูกละลายภายนอกเข้าไปในเนื้อผักผลไม้โดยที่ตัวถูกละลายภายนอกจะแพร่กระจายเข้าไปในผักผลไม้ได้เฉพาะบริเวณขอบๆ และส่วนใหญ่จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ การถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายนี้ จะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุลของมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้ และสารละลายภายนอกที่สภาวะสมดุลนี้อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลายจะมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้และในสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ด้วย ดังภาพที่ 2-4 ซึ่งการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสจะทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลดลงเป็นผลไม้ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ปริมาณของแข็งในชิ้นผลไม้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำตาลแพร่กระจายเข้าไปในชิ้นผลไม้ การออสโมซิสซึ่งทำให้ปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้ลดลงได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเริ่มต้น และสารละลายออสโมติกใช้แล้วบางส่วนสามารถนำกลับมาเพิ่มความเข้มข้นเพิ่มนำไปใช้ใหม่ได้



ภาพที่ 2-4 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส

ที่มา : ดัดแปลงจาก Torreggiani (1993)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 24 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 249997

ในขณะที่ผลไม้แช่ในน้ำเชื่อม ผนังเซลล์ (Cell membrane) จะทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable membrane) นั่นคือ ผนังเซลล์จะยอมให้น้ำซึมผ่านมากกว่าน้ำตาล ดังนั้น ถ้าแช่ผลไม้ในน้ำตาลเป็นระยะเวลาไม่นานนัก น้ำจะซึมออกจากเซลล์ได้มากเมื่อเทียบกับน้ำตาลซึ่งซึมเข้าไปในผลไม้ได้เฉพาะบริเวณขอบๆ และส่วนใหญ่จะอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ อาจกล่าวได้ว่าการทำแห้งด้วยวิธีการออสโมซิส จะทำให้ปริมาณของน้ำในผลไม้ลดลง ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลซึมเข้าไปและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลง (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533)

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการออสโมซิส

1) ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุก

ผลไม้บางชนิดสามารถออสโมซิสได้เร็ว บางชนิดทำได้ช้า ทั้งนี้ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์ (Cell wall) และเซลล์เมมเบรน (Cell membrane) พบว่าสับปะรดสามารถทำได้เร็วกว่ามะละกอและมะม่วง ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์ จะมีอัตราในการทำต่างกันด้วย นอกจากนี้ความสุกก็มีผล ผลไม้สุกจะทำได้เร็วกว่าดิบ แต่ถ้าสุกเกินไปผลไม้จะเละไม่น่ารับประทาน (อ่อนรวี รัตนาพันธุ์, 2533)

2) ชนิดของสารละลายออสโมติก

ชนิดของสารละลาย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลในการลดความชื้นโดยการออสโมซิส โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ก็เป็นตัวเลือกที่ดีทางหนึ่ง ในผักหรือปลาใช้สารละลายเกลือเพียงความเข้มข้นต่ำก็ได้ผล แต่การใช้สารละลายเกลือในผลไม้ทางการค้านั้นไม่ได้รับการยอมรับ ส่วนใหญ่ในผลไม้จะใช้สารละลายผสมระหว่างซูโครสหรือน้ำเชื่อมข้าวโพด (ความเข้มข้น 40 – 70 °Brix) และสารอื่น เช่น กรดซิตริก, กรดแอสคอร์บิก, แลคโตส (Hosahalli and Michele, 2006) นอกจากนี้ยังมีสารละลายกลูโคส ซึ่งช่วยกำจัดน้ำในเซลล์ผลไม้ได้ดีกว่าฟรุกโตส และซูโครส และสารออสโมติกที่ใช้จะต้องมีค่า a_w ต่ำ มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ในการใช้ต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีก 3 ข้อ คือ

- ต้องไม่ทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป
- มีราคาต่อหน่วยถูก ไม่ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นมาก
- สารละลายที่ใช้ควรมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เพราะถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้มีแรงดันออสโมติกสูง เช่น น้ำตาลกลูโคสจะมีแรงดันออสโมติกสูงกว่าน้ำตาลซูโครส จึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มาก และเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าการใช้น้ำตาลซูโครส ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างขึ้น (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2522)

3) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้มีความสำคัญมาก เพราะจะมีส่วนช่วยในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยมีผลต่อค่า a_w ถ้าความเข้มข้นยิ่งมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะมาก เป็นผลทำให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นด้วย ความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อเลยค่านี้ไปแล้ว

จะไม่มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการแพร่ของน้ำออกจากผลไม้ได้ สารละลายชนิดเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น แต่ขณะเดียวกันน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ได้มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นข้อดีอันหนึ่งของวิธีการออสโมซิสนี้ คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่หวานจนเกินไป

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิในการออสโมซิสก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการหนึ่ง เพราะว่ามีผลต่ออัตราการออสโมซิส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงไปจะไปทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป กล่าวคือ ทำให้เยื่อหุ้มอ่อนตัวลงจึงมีผลทำให้ความแน่นของผลไม้เปลี่ยนไปด้วยทำให้การซึมผ่านดีกว่าและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ ถึงอัตราการออสโมซิสจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างการออสโมซิส จำเป็นต้องใช้เวลาในการออสโมซิสให้น้อยลงด้วย ทำให้เกิดวิธีใหม่ที่เรียกว่า High Temperature Shot Osmosis (HTST osmosis) (สุธีรา เลิศวุฒิกุล, 2540) แต่อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกินไป เพราะจะทำลายโครงสร้างของอาหาร แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้น (Hosahalli and Michele, 2006)

5) อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกและผักผลไม้

การใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้ และสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น จะมีผลให้อัตราการสูญเสียน้ำ และอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลมากขึ้นด้วย เป็นผลมาจากเมื่ออัตราส่วนระหว่างเนื้อผลไม้ และสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น น้ำที่ซึมออกจากชิ้นผลไม้จะไปมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายเพียงเล็กน้อย เพราะมีสารละลายน้ำตาลปริมาณมาก จึงทำให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกของน้ำภายในเซลล์ของผลไม้ และสารละลายภายนอกจึงมีค่าสูงอยู่ตลอดเวลาอัตราส่วนนี้เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำซึมออกได้เร็วขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ซึมออกมาไม่ค่อยมีผลให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลง ในกรณีที่น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นมาก ดังนั้น แรงขับ (Driving force) ซึ่งคือความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์และภายนอกสูงอยู่ตลอดเวลา

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ได้ศึกษาการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิส ระบบต่อเนื่อง โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสารละลายน้ำตาล 3 ระดับ คือ 1:3 1:4 และ 1:5 พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำกับน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย

6) การคนหรือกวน

ในการออสโมซิส ถ้าหากสารละลายน้ำตาลมีการเคลื่อนที่ด้วยการกวน (Stirring) หรือการใช้ปั๊ม (Pump) จะเป็นผลทำให้อัตราการออสโมซิสสูงขึ้น ทำให้อัตราการสูญเสียน้ำของชิ้นผลไม้เพิ่มขึ้น การกวนช่วยไม่ให้เกิดการสะสมของน้ำที่ซึมออกมาอยู่รอบๆ ผลไม้ ซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้จะทำให้ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่สัมผัสกับผลไม้ลดลงมาก และน้ำจะซึมออกมาน้อย นอกจากวิธีการกวน

แล้วในอุตสาหกรรมอาจใช้วิธีการระเหยน้ำ ทำให้น้ำเชื่อมมีความเข้มข้นมากขึ้นแล้วทำให้การไหลเวียนผ่านผลไม้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง (Continuous re-concentration)

7) รูปร่างและขนาดของผลไม้

รูปร่างและขนาดของผลไม้ มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะแพร่ออกได้เร็ว ผลไม้ถ้าเป็นชิ้นใหญ่น้ำจะแพร่ออกได้น้อย หรือถ้ามีรูปร่างกลม น้ำจะแพร่ออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากในทั้งสองกรณีนี้ พื้นที่ผิวต่อปริมาตร มีค่าน้อย ผลไม้บางชนิดมีการแพร่ของน้ำเร็ว บางชนิดมีการแพร่ของน้ำช้า ทั้งนี้ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์ และเยื่อหุ้มเซลล์ พบว่าน้ำในสับปะรดสามารถแพร่ได้เร็วกว่ามะละกอและมะม่วง ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละพันธุ์ จะมีอัตราในการแพร่ของน้ำต่างกันด้วย นอกจากนี้ความสุกก็มีผล คือ น้ำตาลในผลไม้สุกจะแพร่ได้เร็วกว่าดิบ (Hosahalli and Michele, 2006) อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะแพร่ออกได้เร็ว ผลไม้ถ้าเป็นชิ้นใหญ่น้ำจะแพร่ออกได้น้อย หรือถ้ามีรูปร่างกลม น้ำจะแพร่ออกได้น้อยเช่นกัน เนื่องจากในทั้งสองกรณีนี้ พื้นที่ผิวต่อปริมาตร มีค่าน้อย (อ่อนระวี รัตนาพันธุ์, 2533) นอกจากนี้ความเป็นรูพรุนของตัวอย่างยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียน้ำ ผลไม้ที่มีขนาดของรูพรุนสูงมักมีค่าการสูญเสียน้ำสูง แต่ความเป็นรูพรุนไม่สามารถอธิบายการเพิ่มของของแข็งทั้งหมดได้ เนื่องจากมีผลกระทบจากการหดตัวและขนาดโมเลกุลของสารละลายเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

8) การเตรียมขั้นต้น

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลวกวัตถุดิบก่อนการออสโมซิส จะมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากความร้อนในระหว่างการลวกจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลง ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำในวัตถุดิบและตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกสูงขึ้น สารละลายน้ำตาลซึมเข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลสารจึงมากขึ้น การลวกอาจทำได้ในลักษณะของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส หรือการใช้ไอน้ำร้อน ซึ่งมีงานวิจัยต่างๆใช้การลวกเป็นวิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น แล้วทำให้มีผลต่อการถ่ายเทมวลสารและเนื้อสัมผัส หลักการโดยทั่วไปของการลวก คือ เป็นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ชิ้นผลไม้ เนื่องจากผลไม้มีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และโพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลไม้สูญเสียคุณภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์นี้ นอกจากนี้ระยะเวลาในการลวกและอุณหภูมิในการลวกขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป การลวกที่ในระยะสั้นหรือนานเกินไปจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ทำให้เกิดสีผิดปกติหรือเนื้อนิ่มเละ หลังจากการลวกแล้วต้องทำให้เย็นลงทันทีเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอันเกิดมาจากความร้อน (วิไล รังสาดทอง, 2546)

2.5.2 ข้อดีของการดึงน้ำออกแบบออสโมซิส (คำนวณ ตั้งพันธุ์ และ วัชรพงษ์ ทองสิมา, 2533)

1) ลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลายาวนานเพื่อการระเหยน้ำ เพราะขั้นตอนการออสโมซิส ช่วยนำน้ำออกจาผลไม้ไปส่วนหนึ่งแล้ว

2) การไม่ใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะไม่ทำลายคุณภาพของผลไม้ คือไม่ทำให้สีและรสชาติเปลี่ยนไป แต่จะทำให้สีและรสชาติดีขึ้น

3) น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมที่ใช้จะเป็นตัวช่วยป้องกันรสชาติความสดเอาไว้ วิธีการอื่นไม่สามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นและรสได้มากกว่าวิธีนี้

4) น้ำเชื่อมหรือสารละลายเข้มข้นช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์ ไม่ให้สีของผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงได้ผลไม้แห้งที่มีสีสดสวยน่ารับประทานยิ่งขึ้น

5) นอกจากน้ำที่ขจัดออกจากผลไม้แล้วยังมีกรดบางส่วนจากผลไม้ถูกขจัดออกไปด้วยมาผสมกับน้ำตาล และน้ำตาลบางส่วนก็อาจติดกับผลไม้ เมื่ออบแห้งออกมาผลไม้ที่ได้จะมีความหวานและความนิ่มนวลกว่าผลไม้ที่อบแห้งด้วยวิธีอื่นๆทั่วไป

2.6 การอบแห้ง

วัตถุประสงค์หลักของการอบแห้งนอกจากเปลี่ยนคุณภาพการบริโภคของอาหารแล้ว ยังมีวัตถุประสงค์รองคือ การถนอมรักษาอาหาร โดยความร้อนจะทำลายจุลินทรีย์และลด a_w ที่ผิวนอกของอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

2.6.1 กลไกการอบแห้ง (วิไล รางสาดทอง, 2546; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2546; ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

การอบมี 2 วิธี คือ baking และ roasting เป็นกรรมวิธีที่มีวัตถุประสงค์หลักโดยใช้อากาศร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหารเหมือนกันทั้ง 2 วิธี คำว่า baking จะหมายถึงการอบผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้งและผลไม้ ส่วน roasting จะใช้เมื่ออบอาหารประเภทเนื้อสัตว์ นัท และผัก แต่ภาษาไทยในเล่มนี้จะใช้คำว่า การอบ แทนคำภาษาอังกฤษทั้ง 2 คำนี้ได้ ในเตาอบความร้อนจะแผ่รังสีออกจากผนังของเตาอบและทำให้เกิดอากาศร้อน ซึ่งจะช่วยพาความร้อนไปยังอาหาร และจะมีการหมุนเวียนของอาหารเกิดขึ้นภายในเตาอบ เมื่อถาดวางอาหารได้รับความร้อนก็จะนำความร้อนไปยังอาหารด้วย ดังนั้นความร้อนจะถูกนำไปยังอาหารเป็นส่วนใหญ่ อากาศ ก๊าซอื่นๆ และไอน้ำภายในเตาอบ จะถ่ายเทความร้อนโดยการพา และเมื่อผิวของอาหารได้รับความร้อนก็จะถูกนำไปยังภายในชิ้นอาหาร boundary film ของอากาศจะทำหน้าที่ต้านการถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังชิ้นอาหาร และมีการเคลื่อนที่ของไอน้ำออกมาจากชิ้นอาหารด้วย การอบแห้งในภาชนะ ความร้อนจะถูกนำมาโดยพื้นผิวของภาชนะซึ่งสัมผัสกับเตาอบ ทำให้มีความร้อนเพิ่มขึ้น เกิดความแตกต่างของ

ความร้อนที่ด้านล่างของอาหาร ซึ่งจะทำให้อัตราการอบอาหารแตกต่างกัน หากอาหารมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนในอัตราที่ต่ำด้วย ซึ่งจะทำให้ต้องใช้ระยะเวลาอบนานขึ้น ขนาดของชิ้นอาหารจะเป็นตัวกำหนดระยะทางที่ความร้อนจะถูกนำไปยังจุดกึ่งกลางของชิ้นอาหาร เมื่อนำอาหารเข้าไปในเตาอบครั้งแรก ความชื้นที่ผิวนอกของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอน้ำและถูกพาไปด้วยอากาศร้อน หากอากาศในเตาอบมีความชื้นต่ำ จะทำให้มีความแตกต่างของความดันไอน้ำมาก ทำให้มีการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากภายในชิ้นอาหารออกมาภายนอกได้เร็วขึ้น ดังนั้นการสูญเสียน้ำจึงขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารและอัตราการได้รับความร้อน อัตรากรสูญเสียน้ำออกจากผิวนอกจะเป็นตัวเร่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหาร เมื่อผิวนอกของอาหารแห้งสนิท อุณหภูมิที่ผิวนอกจะเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนภายในเตาอบ คือประมาณ 110-240 องศาเซลเซียส ทำให้ผิวนอกแห้งและเป็นเปลือกแข็ง เนื่องจากการอบกระทำที่บรรยากาศปกติ ดังนั้นความชื้นจึงเคลื่อนย้ายออกจากอาหารได้อย่างอิสระ แต่อุณหภูมิภายในชิ้นอาหารก็ยังสูงไม่ถึง 100 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงนี้คล้ายกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน แต่วิธีนี้ใช้ความร้อนสูงกว่าการอบแห้งและอาหารได้รับความร้อนเร็วกว่า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างซับซ้อนต่อองค์ประกอบที่ผิวนอกของอาหาร การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ทำให้อาหารมีคุณภาพการบริโภคดีขึ้น และช่วยรักษาความชื้นบางส่วนไว้ในชิ้นอาหารด้วย

พลังงานที่ใช้ระหว่างการอบประมาณ 450-650 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของอาหาร ความร้อนส่วนใหญ่ใช้สำหรับทำให้อาหารร้อน เพื่อระเหยน้ำที่ผิวนอกออกไปจนเกิดเป็นเปลือกแข็ง ทำให้น้ำภายในชิ้นอาหารกลายเป็นไอผ่านเปลือกผิวนอกออกมาและทำให้ผิวนอกแห้งสนิท

กลไกการอบแห้งเกิดจากเมื่ออากาศร้อนถูกเป่าลงบนชิ้นอาหารที่เปียกชื้น เมื่ออาหารได้รับความร้อนระหว่างการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทไปที่ผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ (Latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ และแพร่กระจายผ่าน boundary film ของอากาศ และพาไอน้ำระเหยออกไป โดยมีอากาศแห้งเข้ามาแทนที่ ทำให้บริเวณที่ผิวนอกของอาหารจะมีความดันไอของไอน้ำลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอของน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในอาหาร จึงเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวนอกของอาหารได้ด้วยกลไก ดังนี้

1) เกิดจากแรงคะปิลลารี (Capillary force) การเคลื่อนตัวแบบนี้ พบว่ามีลักษณะที่ซับซ้อนมาก นั่นคือยากต่อการคำนวณและยากต่อการแยกแยะว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบที่เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้น หรือจากแรงคะปิลลารี

2) การเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายของน้ำ อาจจะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลวหรือของไอ ถ้าเป็นสภาวะของของเหลว การเคลื่อนที่ของน้ำจะเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นที่ต่างกันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำได้ระเหยไปจากผิวหน้า นั่นคือความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มขึ้นขณะที่ปริมาณน้ำลดลง

3) การแพร่ของไอ เกิดจากความแตกต่างของความดันไอ ความชื้นอาจจะเคลื่อนที่โดยการแพร่ของไอผ่านอาหารที่เป็นของแข็งได้ตามความแตกต่างของอุณหภูมิ การระเหยและการแพร่ของไออาจเกิดขึ้นในอาหารที่เป็นของแข็งโดยอาหารนั้นได้รับความร้อนข้างหนึ่งและการระเหยเกิดขึ้นอีกข้างหนึ่ง ดังนั้นไอน้ำที่ระเหยออกไปในอากาศจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ

2.6.2 การเปลี่ยนแปลงของอาหารระหว่างการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เช่น สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ เป็นต้น

1) ลักษณะเนื้อสัมผัส เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร โดยทั่วไปการทำแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่า โดยตัวทำละลายจะเคลื่อนที่จากด้านในไปยังผิวของชิ้นอาหารในระหว่างที่น้ำถูกกำจัดออกในขั้นตอนการอบแห้ง กลไกและอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะสำหรับตัวละลายแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะการทำแห้ง การระเหยของน้ำทำให้ตัวละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของการทำแห้งอาหารโดยเฉพาะผัก ผลไม้ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าอาหารและทำให้ผิวแห้งแข็งเรียกว่าผิวแห้งแข็ง (Case hardening) การเหี่ยวย่น ภายหลังการอบแห้งโครงสร้างของอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทันที เนื่องจากของเหลวมีการเคลื่อนที่และเกิดการกระจายตัวใหม่ของตัวถูกละลายทำให้เกิดการเหี่ยวย่นขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้ลักษณะการเคลื่อนที่หรือการส่งผ่านมวลก็จะเปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ถ้าหากว่าอุณหภูมิเริ่มต้นสูงมากจะทำให้ผิวนอกแห้งในขณะที่ภายในยังนิ่มอยู่ การเหี่ยวย่นก็จะเกิดขึ้นและภายในก้อนอาหารจะมีลักษณะเป็นโพรง (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532; วิไล รังสาดทอง, 2546)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสภายหลังการอบแห้ง จะมีผลต่อคุณภาพของผลไม้ ซึ่งสามารถปรับปรุงให้คุณภาพดีขึ้นได้โดยการลวกและอาจเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไปในน้ำที่ใช้ลวก การปอกเปลือกและหั่นชิ้นอาหารก่อนทำแห้งก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะเมื่อแช่น้ำให้คืนตัว (นิธิยา รัตนาปนนท์ , 2546)

2) กลิ่นและรส ความร้อนนอกจากจะทำให้น้ำระเหยแล้วยังทำให้สารให้กลิ่นรสบางชนิดสูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในชิ้นอาหาร ความดันไอ และความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารให้กลิ่นรส สาเหตุสำคัญของการสูญเสียกลิ่นรสของอาหารอีกประการ ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุ วิตามิน และไขมันในอาหารระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเมื่ออาหารที่ผ่านการอบแห้งจะมีรูพรุนอยู่ภายในจึงสามารถเก็บก๊าซ

ออกซิเจนได้มากกว่า ทำให้ออกซิเจนจากอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเก็บรักษาและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอาหารด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์ ,2546; วิไล รังสาดทอง, 2546)

3) สี การอบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของอาหาร และ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์เกิดจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง โดยทั่วไปการอบแห้งที่เวลานานและอุณหภูมิสูง จะทำให้สีเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ในอาหารทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา (วิไล รังสาดทอง, 2546) ทั้งนี้สามารถป้องกันสาเหตุดังกล่าวได้ด้วยใช้การลวก การใช้กรดแอสคอร์บิกหรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2546)

4) การเกิดสีน้ำตาลหรือเสียหายเนื่องจากความร้อน อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเสียหายในลักษณะนี้มักจะเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา เช่น อาหารที่มีความไวต่ออุณหภูมิ อาจจะทนอุณหภูมิได้สูงถึง 33 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านี้ได้เพียง 2-3 วินาที โดยไม่เกิดความเสียหาย แต่สามารถสังเกตเห็นสีน้ำตาลได้ถ้าหากใช้เวลานาน 8-10 ชั่วโมงที่ 49°C อัตราการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของอาหาร ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าในระบบที่ซับซ้อนที่มีสารละลายอย่างเจือจาง แต่ถ้าสารละลายนี้เข้มข้นอันเนื่องจากการอบแห้ง ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการอบแห้งอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุดที่ความชื้นอยู่ระดับปานกลาง คือในช่วงระหว่าง 15-20 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออาหารมีลักษณะแห้งอย่างสมบูรณ์การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ อาหารอบแห้งที่มีความชื้นประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถเก็บได้เป็นเวลานาน แม้ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิสูง แต่ว่าปฏิกิริยาการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น การเกิดกลิ่นหืนจะกลายเป็นปัจจัยจำกัดของการเก็บอาหารนี้ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

5) คุณค่าทางโภชนาการ การใช้ความร้อนในการระเหยน้ำแก่จากอาหาร ทำให้อาหารมีน้ำหนักลด หรือทำให้อาหารอยู่ในสภาพแห้ง เป็นวิธีการลดค่า a_w แต่การใช้ความร้อนจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยเฉพาะวิตามินซึ่งวิตามินแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้แตกต่างกัน วิตามินซีจะไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อนและการออกซิเดชันมากที่สุด หากต้องการลดการสูญเสียวิตามินซีต้องใช้เวลาในการอบแห้งและเวลาในการเก็บรักษาที่สั้น ใช้อุณหภูมิต่ำความชื้นสัมพัทธ์และออกซิเจนต่ำ แต่วิตามินชนิดอื่นค่อนข้างทนต่อความร้อนและออกซิเดชัน จึงสูญเสียระหว่างการอบแห้งเพียง 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวิตามินและอาหารที่ละลายได้ในไขมันค่อนข้างคงตัวในอาหารแห้งและมีความเข้มข้นมากขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2546; วิไล รังสาดทอง, 2546)

6) การเหี่ยวย่น เซลล์เนื้อเยื่อสัตว์และพืชของสิ่งมีชีวิตมีคุณสมบัติความเต่งตึง หมายความว่าของเหลวที่อยู่ในแต่ละเซลล์จะทำให้เซลล์พองออก จนมีโครงสร้างเหนียวแน่นคล้ายบัลลูน ผนัง

เซลล์มีลักษณะอยู่ภายใต้แรงตึงผิว ในขณะที่ภายในเซลล์จะถูกแรงอัด โครงสร้างของผนังเซลล์มีลักษณะแข็งและยืดหยุ่น แต่เมื่อเนื้อเยื่อผ่านกระบวนการบางกระบวนการ เช่น การลวก พบว่า ผนังเซลล์จะมีลักษณะการยอมให้ซึมผ่านได้ง่ายขึ้น ความเต่งตึงของเซลล์จะหายไป โครงสร้างอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีเมื่อผ่านการอบแห้ง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของของเหลว การกระจายตัวใหม่ของตัวถูกละลายและการเหี่ยวย่น เมื่อเป็นเช่นนี้ลักษณะการเคลื่อนที่หรือการส่งผ่านมวลก็จะเปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ถ้าหากว่าอุณหภูมิเริ่มต้นสูงมากจะทำให้ผิวนอกแห้งในขณะที่ภายในยังนิ่มอยู่ การเหี่ยวย่นก็จะเกิดขึ้น และภายในก้อนอาหารจะมีลักษณะเป็นโพรง

7) ความหนาแน่นรวม หากอาหารถูกอบแห้งเร็วจนเกินไป จะทำให้อาหารมีความหนาแน่นรวมน้อยกว่าพวกอาหารที่ถูกอบแห้งด้วยอัตราเร็วช้า

8) ความสามารถในการคืนตัว ปัจจัยคุณภาพของอาหารแห้งที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการคืนตัว ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว ลักษณะเป็นเส้นใย การคืนตัวอย่างช้าๆหรือไม่สมบูรณ์ ถือเป็นตำหนิทางคุณภาพของอาหารอบแห้ง การเก็บเนื้อเยื่อพืชหรือสัตว์ไว้ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงแบบไม่คืนตัวจะเกิดขึ้นเสมอ แม้ส่าอุณหภูมินั้นจะไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดสีน้ำตาลหรือไหม้ได้ก็ตาม ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และความสามรถในการพองตัวของแป้ง เป็นปัจจัยสำคัญต่อการคืนตัว แต่ปัจจัยทั้งสิงจะลดลงเมื่ออาหารถูกกับความร้อน

2.7 การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น

จากการค้นคว้าข้อมูล (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว) พบว่า อาหารประเภทพองกรอบ (Expanded product) มีหลายประเภท ซึงมีเทคโนโลยีการแปรรูปแตกต่างกัน เช่น

1) การพองด้วยการย่างบนความร้อน (Baking) นิยมผลิตกับผลิตภัณฑ์จากข้าวต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อะราเร่ (Arare) ที่ทำมาจากข้าวเหนียว และเซนเบ่ (Senbei) ที่ทำมาจากข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ

2) การพองที่เกิดจากแรงอัดที่อุณหภูมิสูง (Extrusion) ในปัจจุบัน มีการนำ extrusion technology มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก การพองตัวของแป้งเกิดจากการที่แป้งได้รับความร้อนจากขดลวดและความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียว ทำให้แป้งและองค์ประกอบอาหารเกิดการหลอมตัว เมื่อแป้งเหลวนี้เคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศ ความดันจะลดลงกะทันหัน ไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวจะกระจายระเหยออกทันที และดันก้อนแป้งเกิดรูพรุนกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ เครื่อง Extrusion นี้มีทั้งชนิด single screw และ twin screws เทคโนโลยีสามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ และยังเอื้ออำนวยต่อการเติมสารอาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย

3) การพองตัวที่เกิดจากแผ่นความร้อน (Puffing machine) หลักการของเทคโนโลยีนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับ extrusion แต่ความดันที่ได้รับเกิดจากแรงดันและการเคลื่อนกลับของแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่นประกบกัน ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้แก่ rice cake

4) การพองตัวที่เกิดจากการอบหรือทอดในน้ำมันร้อน (Oven or deep fry puffing) ทั้งนี้สำหรับการอบต้องใช้สภาวะที่เหมาะสม รวมถึงต้องพิจารณาวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของของแข็งอยู่ด้วย จะทำให้เกิดลักษณะพองกรอบ เช่น ข้าวตอกอบซึ่งทำจากข้าวเหนียว

Hofsetz et.al (2007) และ Antonio et. Al (2008) กล่าวว่า ในการอบแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะการพองกรอบสามารถทำได้โดยใช้วิธีการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น โดยปัจจัยสำคัญ คือ การกำหนดการใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของอาหาร ซึ่งคุณลักษณะสำคัญการอบแห้งวิธีหนึ่งที่จะได้ผลิตภัณฑ์พองกรอบ คือ การอบแห้งโดยการใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น มีหลักการสำคัญ คือ การสร้างระบบอากาศร้อนให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึง ควบคุมการให้ความร้อนที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของชิ้นอาหารที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีการพองกรอบนาน มีความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำ ซึ่งระบบของอากาศร้อนในเครื่องอบแห้งนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วงการใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST stage) เป็นขั้นแรกของการอบแห้ง ที่ต้องการให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว กล่าวได้ว่าเกิดการปลดปล่อยหรือขยายตัวของไอน้ำในชิ้นอาหารเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็วนั่นเอง ซึ่งจะมีผลให้โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัวทำให้เกิดลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือ ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ พองและปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปในขั้นตอนนี้ห้องอบควรมีอากาศร้อนสูงมากกว่า 100 องศาเซลเซียส และให้เวลาสั้นสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ประเภทผักผลไม้อยู่ในช่วง 130-250 องศาเซลเซียส เป็นเวลาในช่วง 1-15 นาที

2) ช่วงการทำให้เย็นลง (Cooling stage) เป็นขั้นตอนหลังจาก HTST stage ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิในห้องอบลงหลังจากการให้ความร้อน เพื่อไม่ให้ตัวอย่างได้รับความร้อนที่อุณหภมิสูงนานจนเกินไป และเป็นการเตรียมปรับสภาวะอุณหภูมิตัวอย่างให้เข้าสู่ช่วง Air drying stage ต่อไป สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ประเภทผักผลไม้ ช่วง Cooling stage จะลดจากช่วง HTST stage ให้อยู่ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส ภายในเวลาไม่เกิน 30 นาที

3) ช่วงการอบแห้งด้วยลมร้อน (Air drying stage) หลังจากตัวอย่างเกิดลักษณะพองในช่วง HTST stage แล้วเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบนาน ปลอดภัยสำหรับการบริโภคและเก็บรักษาได้นาน จะต้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่อ เพื่อลดความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลง สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ประเภทผักผลไม้ช่วง Air drying stage จะใช้อุณหภูมิในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส จนทำให้ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ เหลือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์และต่ำกว่า 0.3 ตามลำดับ

การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น (High Temperature Short Time ; HTST) อาศัยหลักการใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น โดยระบบนี้เป็นระบบที่ให้ความร้อนในระดับสูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลง คือ ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาทีแล้วทำให้เย็นโดยเร็ว ระบบนี้มักเป็นแบบต่อเนื่องเครื่องมือที่ใช้เป็นแบบเฉพาะ โดยปล่อยให้อาหารผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นวิธีการทำแห้งที่สามารถลดปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ในชิ้นอาหารลงได้อย่างรวดเร็ว และสามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์แบบพองกรอบ (Puff) ขึ้น มีสี เนื้อสัมผัส และรสชาติดี ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยลักษณะการพองกรอบเกิด เนื่องมาจากการขยายตัวของไอน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหาร เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง เช่น การทำแห้งโดยใช้ HTST น้ำในชิ้นอาหารจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และเกิดการขยายตัวดันผนังเซลล์ ทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็ก (รู) ภายในโครงสร้าง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว (Puffing) ขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เกิดขึ้นดังนี้

1) ลักษณะการพองกรอบ (Puff) ลักษณะการพองกรอบ เกิดเนื่องมาจากการขยายตัวของไอน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหาร เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง เช่น การทำแห้งโดยใช้ HTST น้ำในชิ้นอาหารจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและเกิดการขยายตัวดันผนังเซลล์ จึงเกิดช่องว่างขนาดเล็ก(รู) ภายในโครงสร้าง ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว (Puffing) ขึ้น

2) ลักษณะเป็นรู (Porosity) ลักษณะเป็นรู เกิดเนื่องจากชิ้นอาหารได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงมากๆ จึงทำให้ไอน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารเกิดการขยายตัวดันผนังเซลล์ให้พองขึ้นจนผนังเซลล์แตก จึงทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็ก (รู) บนโครงสร้าง

3) ลักษณะการหดตัว (Shrinkage) การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ เพราะเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่วิธีนี้จะทำลายลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างถาวร ทำให้เกิดการหดตัว เกิดการสุกอย่างช้าๆ เมื่อแช่น้ำจะเกิดการคืนรูปได้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะผักอบแห้งจะหดตัวมาก เพราะท่อแคปิลลารีเสียสภาพและหดตัว ซึ่งมีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้

2.8 การทอด (วิไล รังสาดทอง, 2543)

การทอดเป็นกรรมวิธีที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร วัตถุประสงค์รองคือ การถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ที่ผิวอาหาร หรือตลอดชิ้นอาหาร ถ้าเป็นการทอดอาหารชิ้นบางๆ ความชื้นของอาหารหลังการทอดจะเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งมีความชื้นภายในอยู่ เช่น โดนัท ปลา เนื้อไก่ชุบแป้งหรือชุบขนมปังป่นทอดจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา จึงไม่นิยมผลิตอาหารเหล่านี้ในระดับอุตสาหกรรมและกระจายไปยังร้านค้าย่อย แต่นิยมผลิตในร้านค้าย่อยมากกว่า อาหารเหล่านี้สามารถเก็บรักษาโดยการแช่เย็นได้นานหลายวัน อาหารซึ่งทอดให้แห้งอย่างทั่วถึง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวโพด

หรือมันฝรั่ง อาหารกึ่งสำเร็จรูปโดยการอัดผ่านเกลียวจะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง และรักษาคุณภาพได้โดยการใช้บรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม

2.8.1. ทฤษฎีการทอด

เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจึงเริ่มแห้ง แนวระนาบการระเหยจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหารและเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ถึง 100 องศาเซลเซียส ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอาหาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อน ค่าการนำความร้อนของอาหารจะเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุนประกอบด้วยท่อแคปปิลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากแคปปิลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบางๆ ของน้ำมัน ความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสารถูกกำหนดโดยความหนืดและความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมัน ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมันแห้งจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้นคล้ายกับในกรณีการทำแห้งด้วยลมร้อน เวลาที่ใช้ในการทอดโดยสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับ

1. ชนิดของอาหาร
2. อุณหภูมิของน้ำมัน
3. วิธีทอดว่าเป็นแบบน้ำมันตื้น (Shallow frying) หรือน้ำมันท่วม (Deep-fat frying)
4. ความหนาของชิ้นอาหาร
5. ความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภค

อาหารซึ่งมีความชื้นภายในจะถูกทอดจนกว่าจุดร้อนช้าที่สุดของอาหารจะได้รับความร้อนเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนหรือพอที่จะเปลี่ยนคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสได้ตามที่ต้องการ ปัจจัยเหล่านี้สำคัญมากโดยเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อบดหรืออาหารอื่นที่อาจมีเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอาศัยอยู่ได้

ความต้องการของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยอีกข้อในการกำหนดอุณหภูมิในการทอด มีการใช้อุณหภูมิสูงสำหรับการทอดอาหารที่ต้องการให้มีเปลือกนอกแห้งและมีความชื้นภายใน การเกิดเปลือกนอกอย่างรวดเร็วจะเป็นการปิดกั้นไม่ให้น้ำเคลื่อนที่ออกไปจากอาหาร และลดอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังด้านในอาหาร ชิ้นอาหารจึงยังคงรักษาเนื้อสัมผัสที่นุ่มชื้นและกลิ่นรสของสารประกอบในอาหารไว้ได้ การทำให้อาหารแห้งโดยการทอดจะใช้การทอดที่อุณหภูมิต่ำกว่า จึงทำให้ระนาบการระเหยเคลื่อนที่ลึกลงไปในอาหารก่อนเกิดเปลือกนอก อาหารจึงแห้งก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่น สี ที่รุนแรง

วิธีการทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมี 2 วิธี ซึ่งจำแนกโดยวิธีการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ การทอดแบบน้ำมันตื้น (Shallow frying) และการทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-fat frying)

1 การทอดแบบน้ำมันตื้น วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไข่ และพายชนิดต่างๆ ความร้อนจากผิวของกระทะร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบางๆ ไปยังอาหาร ความหนาของชั้นน้ำมันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวหน้าของ

อาหาร ถ้าชั้นน้ำมันบางฟองไอน้ำเดือดจะทำให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้นลงบนผิวร้อนของกระทะ การกระจายความร้อนจึงไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผิวหน้าของอาหารที่ทอดแบบน้ำมันตื้นมีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามวิธีทอดแบบนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวสูง (200-450 วัตต์/เมตร^{2}เคลวิน)

2 การทอดแบบน้ำมันท่วม การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้เป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนจากภายในอาหาร ผิวของอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารทุกรูปร่าง แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนเกิดการระเหยเท่ากับ 250-300 วัตต์/เมตร^{2}เคลวิน และเพิ่มขึ้นเป็น 800-1000 วัตต์/เมตร^{2}เคลวิน เนื่องจากเกิดเทอบุเลนซ์ของไอที่หนีออกจากอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการระเหยสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆ ของไอน้ำอยู่บนผิวอาหารทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง

2.8.2. ผลกระทบของความร้อนต่ออาหารทอด

การทอดเป็นหน่วยปฏิบัติการที่มีลักษณะเฉพาะคือ เป็นการใช้ผลิตภัณฑ์จากหน่วยปฏิบัติการ คือใช้น้ำมันที่ได้รับความร้อนในหน่วยหนึ่งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้อาหารในอีกหน่วยหนึ่ง โดยวัตถุประสงค์ของการทอดคือ เพื่อปรับปรุงสี กลิ่น และรสในเปลือกนอกของอาหาร โดยอาศัยปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการดูดซับสารระเหยจากน้ำมัน ปัจจัยหลักที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นของอาหาร ได้แก่

1. ชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทอด
2. อายุและประวัติด้านความร้อนของน้ำมัน
3. อุณหภูมิและเวลาในการทอด
4. ขนาดและลักษณะผิวหน้าของอาหาร
5. การจัดการหลังการทอด

ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหาร ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นสารประกอบโพลิเมอร์

2.9 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งหรือขนมขบเคี้ยว (รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ, 2540)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งหรือขนมขบเคี้ยว แบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย ดังนี้

1) ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

2) สภาวะแวดล้อมภายนอก ปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องต่อการเก็บรักษา ได้แก่

- อุณหภูมิ อุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นอีกปัจจัยที่ช่วยรักษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ การเก็บในอุณหภูมิสูงเกินไปอาจก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายกว่าการเก็บรักษาในที่เย็น
- ออกซิเจน ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในอาหารแห้งหรือขนมขบเคี้ยว จะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆมากมาย อาทิเช่น การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ การออกซิเดชัน

ของวิตามินและไขมัน เป็นต้น ซึ่งล้วนส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

- ปริมาณความชื้น ที่มีอยู่ทั้งในระหว่างการและจากภายนอกในระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการดูดซับความชื้นและมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มลงได้
- แสง สามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งมีผลให้เกิดปฏิกิริยาต่างได้ คือ การออกซิเดชั่นของไขมันและน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสี และการเสื่อมเสียของวิตามิน

3) คุณสมบัติของภาชนะบรรจุ หน้าที่หลักของภาชนะบรรจุ คือ การป้องกันผลิตภัณฑ์จากปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น แสง ไอน้ำ แก๊ส และกลิ่นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีและมีการเปลี่ยนแปลงมนระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุด ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งหรือขนมขบเคี้ยว ควรทำจากวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจนได้ดี

2.9.1 บรรจุภัณฑ์พลาสติก (ปุ่น และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

ในปัจจุบันนี้มีพลาสติกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลากหลายชนิดโดยแต่ละชนิดยังสามารถแยกเป็นกลุ่มโดย อาจแยกตามน้ำหนักโมเลกุลและความหนาแน่น ตัวอย่างพลาสติก PE (Polyethylene) สามารถแยกได้ตั้งแต่ LLDPE (Linear Low Density Polydthylene), LDPE (Low Density Polydthylene), MDPE (Medium Density Polydthylene) และ HDPE (High Density Polydthylene) พลาสติกแต่ละประเภทยังสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยการทำปฏิกิริยากับพลาสติกใหม่เกิดขึ้น นอกจากนี้กระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจะได้พลาสติกที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

PE นับเป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดและราคาถูก สืบเนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ PE ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอไรเซชั่น (Polymerisation) ของก๊าซเอธิลิน (Ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงโดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (Metal Catalyst) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะโซ่สั้นและยาวจะส่งผลให้ PE ที่ได้ออกมามีความหนาแตกต่างกัน PE แบ่งเป็น 3 ประเภทตามค่าความหนาแน่น คือ

1) โพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene หรือ LDPE) ความหนาแน่น 0.910 - 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2) โพลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene หรือ MDPE) ความหนาแน่น 0.926 - 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3) โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene หรือ HDPE) ความหนาแน่น 0.941 - 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

LDPE เป็นพลาสติกที่ใช้มากและชื่อสามัญเรียกว่าถุงเย็น มักจะใช้ทำถุงฟิล์มหดและ ฟิล์มยืด ขวดน้ำ ฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยืดตัวได้ดี ทนต่อการทิ่มทะลุและการฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดผนึกได้ดี โครงสร้างของ PE จะสามารถป้องกันความชื้นได้ดีพอสมควร แต่จุดอ่อนของ LDPE คือ สามารถปล่อยให้ไขมันซึมผ่านได้ง่าย แต่ทนต่อกรดและด่างทั่วๆ ไป นอกจากนี้ LDPE ยังปล่อยให้อากาศซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่น ของขบเคี้ยว และของทอด เมื่อใส่ในถุงเย็นธรรมดา คุณภาพอาหารจะแปรเปลี่ยนไปเพียงเวลาไม่กี่วัน LDPE ยังมีคุณสมบัติดูดฝุ่นในอากาศมาเกาะติดตามผิว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE นี้เมื่อทิ้งไว้นานๆ จะเปรอะด้วยฝุ่น

ตัวอย่างการใช้งานของ PE ที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1) ใช้ผลิตเป็นถุงร้อน (HDPE) และถุงเย็น (LDPE) สำหรับการใช้งานทั่วไปสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป ข้อสังเกตถุงร้อนที่ผลิตจาก HDPE จะมีสีขาวขุ่น

2) ใช้ห่อหรือบรรจุอาหารได้เกือบทุกชนิดโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ไม่ควรใช้ LDPE กับอาหารร้อน

3) นิยมใช้ทำถุงบรรจุขนมปัง เนื่องจาก PE ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีจึงช่วยป้องกันไม่ให้ขนมปังแห้ง เนื่องจากสูญเสียความชื้นออกไป นอกจากนั้นราคาของ PE ไม่สูงเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของขนมปัง

4) นิยมใช้ทำถุงบรรจุผักและผลไม้สด เนื่องจาก PE ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี ทำให้มีก๊าซออกซิเจนซึมผ่านเข้ามาเพียงพอให้พืชหายใจ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชคายออกมาก็สามารถซึมผ่านออกไปได้ง่าย ในบางกรณีจำเป็นต้องเจาะรูที่ถุงเพื่อช่วยระบายไอน้ำที่พืชคายออกมา

5) นิยมใช้ LDPE เป็นชั้นสำหรับการปิดผนึกด้วยความร้อน เนื่องจากกระดาษและแผ่นเปลวอะลูมิเนียมซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นถุงหรือซองบรรจุอาหาร ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ จึงนิยมนำ LDPE มาประกบติดกับวัสดุต่างๆ เหล่านี้ โดยให้ LDPE อยู่ชั้นในสุด และทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับปิดผนึกด้วยความร้อน ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ซองบะหมี่สำเร็จรูป แผ่นปิดถ้วยโยเกิต กล่องนมยูเอชที เป็นต้น

6) ฟิล์ม PE ชนิดยืดตัวได้ (Stretch Film) นิยมใช้ห่ออาหารสดพร้อมปรุง เนื้อสด และอาหารทั่วไป รูปแบบที่นิยมใช้คือ ใช้รองถาดอาหารแล้วด้วยฟิล์มยืดตัวได้

7) PE ไม่นิยมใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันสูง เช่น เนย ถั่วทอด ขนมขบเคี้ยว

โพลิโพรพิลีน (Polypropylene - PP)

PP มักจะรู้จักกันในนามของถุงร้อน ด้วยคุณสมบัติเด่นของ PP ซึ่งมีความใสและป้องกันความชื้นได้ดี มากว่าครึ่งหนึ่งของ PP ที่นิยมใช้กันจะเป็นรูปของฟิล์ม อย่างไรก็ตาม การป้องกันอากาศซึมผ่านของ PP ยังไม่ดีเท่าพลาสติกบางชนิด เนื่องจากช่วงอุณหภูมิในการหลอมละลายมีช่วงอุณหภูมิสั้นทำให้ PP เชื่อมติดได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฟิล์มประเภท OPP ที่มีการจัดเรียงโมเลกุลในทิศทางเดียวกันจะไม่สามารถเชื่อมติดได้เลย คุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของ PP คือ มีจุดหลอมเหลวสูงทำให้สามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารสำหรับบรรจุอาหารในขณะร้อน (Hot-Fill)

การใช้งานของ PP กับผลิตภัณฑ์อาหาร

1. ใช้บรรจุอาหารร้อน เช่น ถุงร้อน (ชนิดใส)

2. ใช้บรรจุอาหารที่ต้องผ่านความร้อนในการฆ่าเชื้อ โดยที่ PP จะเป็นองค์ประกอบหนึ่งของวัสดุที่ใช้ผลิตซองประเภทนี้ ซึ่งนิยมเรียกว่า Retort Pouch ซองนี้จะสามารถใช้แทนกระป๋องโลหะได้บางครั้งจึงเรียกว่า Flexible Can

3. ใช้ทำบรรจุผักและผลไม้

4. ใช้ทำซองบรรจุอาหารแห้ง เช่น บะหมี่สำเร็จรูป และอาหารที่มีไขมันอายุการเก็บรักษาไม่สูง เช่น คุกกี้ ถั่วทอด เป็นต้น

5. ใช้ทำกล่องอาหาร ลัง ถาด และตะกร้า

บรรจุภัณฑ์ขนส่งอีกประเภทหนึ่งที่มีการใช้ PP อย่างมากมาย คือ ถุงพลาสติกสาน (Wooven Sacks) ที่มีขนาดมาตรฐาน 50 กิโลกรัมซึ่งทนทานต่อการใช้งาน วิวัฒนาการทางด้านนี้ได้ก้าวไปสู่การผลิตถุงขนาดใหญ่ที่บรรจุสินค้าได้ เป็นต้น ที่เรียกว่า FIBC (Flexible Intermediate Bulk Containers) ซึ่งอาจจะมีหูหิ้ว 1-4 หู

ถุงอลูมิเนียมฟอยล์

ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาทำภาชนะบรรจุอาหารว่าง เนื่องจากอลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซได้ดี มีความมันวาว นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบากว่ากระป๋อง แก้ว และโลหะ แต่มีข้อเสียคือ ในขณะลำเลียงขนส่งเกิดรอยยับได้ง่าย (มยุรี ภาคลำเจียก, 2535)

บรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ต้องให้ความระมัดระวังในเรื่องความปลอดภัยและการเลือกใช้มากที่สุด โดยเฉพาะใช้ในการบรรจุอาหารร้อน หรือต้องไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนซึ่งอาจเป็นกระบวนการฆ่าเชื้อ การปรุงสุก หรือการอุ่นอาหารพร้อมสำหรับบรรจุภัณฑ์อันตรายที่อาจเกิดจากการใช้ภาชนะพลาสติกอย่างไม่ถูกต้อง มีสาเหตุสำคัญมาจากการแพร่กระจายของสารจากภาชนะไปสู่อาหาร การแพร่กระจายนี้จะขึ้นกับชนิดของอาหารและพลาสติกที่ใช้ พร้อมทั้งสภาวะบรรยากาศที่อยู่รอบบรรจุภัณฑ์ การเลือกใช้พลาสติกต้องเลือกชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารและเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ต้องผ่านการอุ่นด้วยการนึ่ง หรือต้ม หรืออุ่นในเตาไมโครเวฟจะต้องทนทานอุณหภูมิสูงได้ดี เป็นต้น การแพร่กระจายของสารจะเกิดได้เร็วขึ้นเมื่อถูกความร้อน ดังนั้น หากผู้ประกอบการไม่แน่ใจในคุณภาพของภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร ควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้หรือทำการทดลองโดยการนำอาหารอุ่นหรือปรุงสุกในบรรจุภัณฑ์พลาสติก ถ้าเกิดการอ่อนตัวหรือภาชนะเสียรูปทรง หรือพลาสติกหลอมไม่ควรจะนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้นมาบรรจุอาหาร เพราะอาจเกิดอันตรายจากสารปนเปื้อนที่แพร่กระจายจากบรรจุภัณฑ์ได้

2.9.2 การใช้สารดูดความชื้น

สารดูดความชื้นใช้ใส่ลงในบรรจุภัณฑ์อาหารเพื่อถนอมความสดใหม่ให้คงอยู่ นอกจากจะทำให้อาหารไม่บูดเสียแล้ว ยังป้องกันการเกิดเชื้อรา การเปลี่ยนแปลงสีของอาหาร และป้องกันการเกิดกลิ่หืนอีกด้วย สารกันชื้นที่นิยมในทางการค้า คือ ซิลิก้าเจล (Silica Gel) เป็นสารสังเคราะห์ที่สกัดจากทรายขาวผสมกรดกำมะถันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซิลิกอน ไดออกไซด์ (Silicon Dioxide) มี

ลักษณะเป็นเม็ดกลม โดยทั่วไป ซิลิก้าเจล จะมีลักษะณะเป็นโพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นผิว ที่ใช้ในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมาก ประมาณ 800 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม หรือประมาณ 35-40 % ของน้ำหนักตัวเอง ซิลิก้าเจล (Silica Gel) มี 4 ชนิดคือ

- ซิลิก้าเจล ชนิดเม็ดสีขาว (White Silica Gel) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นประมาณ 35-40% ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละเม็ดประมาณ 2-5 มิลลิเมตร

- ซิลิก้าเจล ชนิดเม็ดสีน้ำเงิน (Blue Silica Gel) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการ เพียงแต่มีการเพิ่มสาร พิเศษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตรวจวัด ปริมาณความชื้นที่กักเก็บไว้ ทำให้ผู้ใช้รู้ว่ามีการเก็บความชื้นไว้ในปริมาณเท่าไร โดยจะแสดงเป็นสีน้ำเงินและสีชมพู หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เม็ดเป็นสีน้ำเงิน หมายความว่า สารกันชื้น นั้นยังไม่ได้ใช้งานหรือไม่ทำงานนั่นเอง ส่วนเม็ดสารกันชื้น ที่เปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือสีม่วงอ่อน แสดงว่าหมดอายุในการใช้งาน ควรเปลี่ยน สารกันความชื้นใหม่

- ซิลิก้าเจล ชนิดเม็ดสีส้ม (Orange Silica Gel) มีคุณเหมือนกับชนิดสีน้ำเงินทุกประการ การทำงาน จะเปลี่ยนจากสีส้ม เป็นสีเขียวอ่อน ซิลิก้าเจล ชนิดนี้ยังไม่ได้รับความนิยมในเมืองไทย เนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูง

- ซิลิก้าเจล ชนิดเม็ดทราย (Silica Sand) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการแตกต่างกันที่ ขนาดของเม็ดของสารกันความชื้น ซึ่ง สารกันความชื้น ชนิดเม็ดทราย จะมีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Krokida, Oreopoulou, Maroulis, and Marinos-Kouris (2001) ศึกษาการผลิตมันฝรั่งทอดด้วยวิธีการอบแห้งก่อน พบว่าการอบแห้งก่อนจะช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อ ปริมาตรจำเพาะ ขณะที่ Porosity มีค่าสูงขึ้น อีกทั้งยังลดปริมาณน้ำมันของมันฝรั่งทอดลง คุณสมบัติของมันฝรั่งทอดสามารถควบคุมได้โดยเลือกเวลาการอบแห้งที่เหมาะสม

Baliga, Shivasankara, Haniadka, Dsouza, and Bhat (2011) ศึกษาลักษณะกายภาพและสมบัติทางเคมีของขนุน เมื่อเปรียบเทียบผลไม้เขตร้อนด้วยกัน คือ ส้ม กล้วย มะม่วง สับปะรด มะละกอ โดยเปลือกขนุนและเมล็ดจะมีปริมาณโปรตีน แคลเซียม เหล็ก และไทอามีนสูงกว่า อีกทั้งยังเป็นแหล่งสารอาหารจำเป็นที่ดีด้วย

Gamble, Rice, and Selman, (1987) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับน้ำมันและสูญเสียความชุ่มชื้นในระหว่างการทอดของชิ้นมันฝรั่ง พบว่าปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณน้ำมันที่ดูดซับ น้ำมันจะเริ่มซึมซับเข้าไปในชิ้นอาหารเมื่อมีการสูญเสียน้ำออกไประหว่างการทอดถ้าวัตถุดิบมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำมันสูง

Hofsetz et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น (HTST) ร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน (AD) ที่มีผลต่อลักษณะเป็นรูและการหดตัวของชิ้นกล้วยและเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว นำชิ้นกล้วยเกลี่ยลงบนถาด แล้วนำไป

อบแห้งในเครื่องอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้ 1. HTST (130 °C 23 นาที) ร่วมกับ AD (70 °C 5 ชม.) 2. HTST (140 °C 15 นาที) ร่วมกับ AD (70 °C 5 ชม.) 3. HTST (150 °C 12 นาที) ร่วมกับ AD (70 °C 5 ชม.) และ 4. ADP (70 °C 8 ชม.) สุ่มชิ้นกล้วยที่เวลาการทำแห้งต่างๆ มาหาปริมาณความชื้นและคำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio: MR) นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MR กับเวลาการทำแห้ง พบว่า ในช่วงแรก (เวลาไม่เกิน 20 นาที) ของการทำแห้งโดย วิธีHTST จะทำให้ค่า MR ลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่วิธี ADP ทำให้ค่า MR ลดลงน้อยกว่า จากนั้นนำชิ้นกล้วยระหว่างการอบแห้งมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัว ลักษณะเป็นรู และลักษณะโครงสร้าง พบว่าการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้นร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนมีผลทำให้ชิ้นกล้วยมีลักษณะพอง (Puffed) และทำให้การหดตัวลดลง มีลักษณะเป็นรูอยู่ในช่วง 45-53 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาตรของตัวอย่างเกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้น และยังพบว่า น้ำจะระเหยออกเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและแรงดันเพิ่มขึ้นทำให้ไอน้ำที่ได้จากความร้อนระเหยออกทำให้เกิดการพองตัว เปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว มีลักษณะเป็นรูประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ

Antonio et al. (2008) ศึกษาผลของการทำแห้งแบบออสโมซิสและการใช้กระบวนการอุณหภูมิสูงเวลาสั้นต่อมันเทศอบแห้ง ทำโดย 1) นำชิ้นมันเทศ แช่ลงในสารละลายผสมของซูโครส 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเกลือ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อุณหภูมิสารละลายผสม 40 °C กวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 80 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที นำมาทำแห้งแบบ HTST โดยมีช่วงอุณหภูมิ 110-160°C และเวลา 5-25 นาที เปรียบเทียบกับมันเทศที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลาย 2) หาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งแบบ HTST สำหรับตัวอย่างที่ใช้และไม่ใช้การทำแห้งแบบออสโมซิส โดยใช้อุณหภูมิ 150°C เวลา 10 นาที และ ใช้อุณหภูมิ 160°C เวลา 22 นาที ตามลำดับ พบว่าการทำแห้งมันเทศแบบ HTST ร่วมกับการใช้การทำแห้งแบบออสโมซิส ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ลดลง เมื่ออุณหภูมิและเวลาการทำแห้งแบบ HTST มากขึ้น ส่วนการดูดน้ำกลับมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาการทำแห้งแบบ HTST มากขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะแข็งและมีสีดำ เป็นผลมาจากการรวมตัวกันของน้ำตาล ในระหว่างการเตรียมขั้นต้นด้วยการออสโมซิสและการเกิดเจลาติไนซ์เซชั่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำที่มีจำกัด จึงเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา 10 นาที ซึ่งให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ดี มีสีเหลืองเข้ม ไม่มีจุดสีน้ำตาล และเกิดการพองตัวมากที่สุด สำหรับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิส สภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้อุณหภูมิ 160 °C เวลา 22 นาที แสดงให้เห็นถึงลักษณะปรากฏที่ดี คือ มีสีเหลืองทั้งชิ้น ไม่มีจุดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ และเกิดการพองตัวมากที่สุดเนื่องจากเกิดรูภายในโครงสร้างปริมาณมาก

Lombard et al. (2008) ได้ศึกษาการดึงน้ำออกจากสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสก่อนการทำแห้ง โดยแช่สับปะรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm ความหนา 1 cm ในสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้น 45 55 and 65 °Brix อุณหภูมิสารละลาย 30 40 และ 50 °C เป็นเวลา 20 40 60 20 180 และ 240 นาที พบว่าการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น และช่วยให้การอบแห้งให้เวลาลดลง

Nath and Chattopadhyay (2008) ศึกษาการใช้วิธีการทำแห้งแบบ HTST ในการผลิตผลิตภัณฑ์พองกรอบพร้อมรับประทานจากแป้งมันฝรั่งและแป้งถั่วเหลือง โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบ HTST ด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด พบว่า เมื่อใช้เวลา 5 นาที จะทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อใช้เวลา 20 นาที จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมากที่สุด คือ ในโครงสร้างมีรูขนาดใหญ่ แสดงให้เห็นว่าปริมาตรเพิ่มขึ้นและเม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย เมื่อใช้อุณหภูมิ 230.06 °C เป็นเวลา 25.46 นาที ในการทำแห้งแบบ HTST ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏที่ดีและเกิดการพองกรอบมากที่สุด

วัชรพงษ์ ทองสิมา (2533) ศึกษาการทำแห้งผลไม้โดยวิธีออสโมซิส โดยทดลองใช้กล้วยน้ำว้าหั่นตามขวาง เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. หนา 0.5 ซม. แช่ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นต่าง ๆ กัน และที่อุณหภูมิของสารละลายน้ำตาลต่าง ๆ กัน พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิของสารละลาย และเวลาที่ใช้ในการแช่ มีผลต่อน้ำหนักที่ลดลงของผลไม้ (%Weigth reduction) คือ ถ้าใช้สารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นสูง จะทำให้น้ำจากผลไม้ออกมาได้มากกว่าการใช้สารละลายที่ มีความเข้มข้นต่ำในช่วงเวลาที่เท่ากัน และถ้าใช้สารละลายน้ำตาลที่มีอุณหภูมิสูง ก็จะเป็นตัวเร่งให้น้ำออกจากผลไม้ได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำจะออกจากผลไม้ ในอัตราสูงในช่วงแรก แต่เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะออกในอัตราที่ลดลง จากทดลองพบว่า ที่สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 70 Brix อุณหภูมิของสารละลายน้ำตาล 50 °C เวลาที่ใช้ในการแช่ 3 ชั่วโมง ให้คุณภาพของกล้วยน้ำว้าดีที่สุด

นฤมล พงษ์พิริยะเดชะ (2539) ศึกษาการดึงน้ำออกจากกลีบมังคุดด้วยวิธีออสโมซิสก่อนการอบแห้งสภาวะสูญญากาศ โดยแช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 50-70 บริกซ์ อุณหภูมิ 30-70 °C และเวลาในการแช่ 4-8 ชั่วโมง จากการทดลองได้คัดเลือกสภาวะการแช่ที่ให้ค่าปริมาณน้ำลดลงสูงสุดที่มีค่า 50 51 และ 54 กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด และค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ที่มีค่า 14 16 และ 2.7 กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด สำหรับมังคุดกลีบเล็กในสารละลายซูโครส 67 บริกซ์ อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส 68 บริกซ์ อุณหภูมิ 62 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และสารละลายกลูโคส 69 บริกซ์ อุณหภูมิ 54 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับมังคุดกลีบใหญ่ได้คัดเลือกสภาวะในการแช่ที่ให้ค่าปริมาณน้ำลดลงสูงสุดที่ 51 51 และ 53 กรัมน้ำ/100 กรัมมังคุดสด และค่าของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำที่ 10.5, 10.5 และ 1.6 กรัมของแข็ง/100 กรัมมังคุดสด สำหรับการแช่ในสารละลายซูโครส 66 บริกซ์ อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

สารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตส 63 บริกซ์ อุณหภูมิ 67 ℃ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และสารละลายกลูโคส 69 บริกซ์ อุณหภูมิ 56 ℃ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อนำมังคุดที่ผ่านการแช่ด้วยสภาวะดังกล่าวไปอบด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 ℃ ให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 15 แล้วทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่ามังคุดที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุกโตสทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

จุฑามาศ นิวัฒน์ (2542) ศึกษาการทำแห้งสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสระบบต่อเนื่อง โดยลวกสับปะรดก่อนการออสโมซิส 0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 นาที พบว่าการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการลวก แต่การลวกนานกว่า 5.0 นาที ทำให้สับปะรดมีลักษณะเปื่อยยุ่ย การให้สารละลายน้ำตาลเคลื่อนที่ผ่านสับปะรดด้วยอัตราเร็ว 3.0 6.0 9.0 และ 12.0 มล./นาที พบว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเลือกใช้อัตราเร็ว 6.0 มล./นาที เนื่องจากไม่สิ้นเปลืองสารละลายที่ใช้ และการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 3 ระดับ คือ 45 50 และ 55 บริกซ์ และอัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสารละลายน้ำตาล 3 ระดับ คือ 1:3 1:4 และ 1:5 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและอัตราส่วนระหว่างสับปะรดกับสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และ พรนภา น้อยพันธ์ (2553) ได้ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นและสภาวะการอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้นต่อคุณภาพของกล้วยน้ำว้าอบแห้ง โดยลวกกล้วยน้ำว้าในน้ำเดือด เป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาที ร่วมด้วยการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิส ทำได้โดยแช่ชิ้นตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลทรายความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์และเกลือความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่า การเตรียมขั้นต้นทุกวิธีมีผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าน้อยกว่าการไม่เตรียมขั้นต้น เนื่องจากการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิส สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่ากว่าชิ้นผลไม้ ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ผลไม้และสารละลายภายนอก เกิดการถ่ายเทมวลสารทำให้ปริมาณน้ำในผลไม้ลดลงและเพิ่มปริมาณของแข็งก่อนการทำแห้ง ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการทำแห้งลงได้ จากการศึกษาสภาวะการอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น โดยแปรอุณหภูมิในช่วง 200 - 250 องศาเซลเซียส และเวลาอบแห้งในช่วง 10 - 20 นาที พบว่า อุณหภูมิและเวลาอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของกล้วยน้ำว้าอบแห้งด้านต่างๆ ได้แก่ อัตราการพองตัว ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อและคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการอบแห้งแบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งมีอัตราการพองตัวมากที่สุด มีค่าสีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุดและมีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด