

บทที่ 6

การถนอมอาหารโดยการทำแห้ง

(Food Preservation by Drying and Dehydration)

วัตถุประสงค์

หลังจากที่อ่านบทนี้แล้ว นักศึกษาควรทราบและเข้าใจในสิ่งต่อไปนี้

- หลักการถนอมอาหารโดยการทำแห้ง
- หลักการทำงานและลักษณะของเครื่องอบแห้ง
- ผลการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์
- การใช้ซอร์พชันไอโซเทอมในกระบวนการทำแห้ง

6.1 บทนำ

การถนอมอาหารโดยการทำแห้งเป็นวิธีถนอมอาหารที่เก่าแก่ มีมาแต่ดึกดำบรรพ์ เริ่มขึ้นตั้งแต่เมื่อไร ไม่มีใครทราบ ไม่มีการบันทึกไว้ในประวัติศาสตร์ แต่จากการศึกษาจากหลักฐานที่ปรากฏพอที่จะกล่าวได้ว่า การผลิตอาหารแห้งนั้นมีวิวัฒนาการมาจากการทำสงคราม เพราะอาหารแห้งเก็บไว้ได้นาน ประหยัดพื้นที่ และมีน้ำหนักเบา เหมาะสำหรับใช้เป็นเสบียงในระหว่างสงคราม โดยกองทัพของอังกฤษในสงครามไครเมีย (พ.ศ. 2397 - 2399) ได้รับผักแห้งจากบ้านเกิด แคนาดาส่งผักแห้งไปยังแอฟริกาใต้ในระหว่างสงครามบอร์ (พ.ศ. 2442 - 2445) และสหรัฐอเมริกาส่งผักแห้งประมาณ 4500 ตัน ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 ปี พ.ศ. 2462 โดยผลิตภัณฑ์ผักแห้งที่ผลิตขึ้น ได้แก่ ถั่วลิ้นเต่า กะหล่ำปลี แครอต หัวผักกาด ข้าวโพดหวาน ผักชี มันฝรั่ง ผักขม และซूपผสม

สำหรับผลไม้แห้งเริ่มมีการผลิตอย่างเป็นทางการเป็นลำเป็นสันในสหรัฐอเมริกา จนมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งขึ้นใช้แทนการตากแห้งด้วยแสงแดด เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งลมร้อนและแบบพ่นฝอยถูกประดิษฐ์ขึ้นก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 และมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตนมผงและไข่ผง

อาหารแห้งมีความชื้นต่ำ มีน้ำหนักเบา สามารถเก็บได้นานเป็นปีหรือมากกว่าที่ อุณหภูมิปกติ แต่ปัญหาส่วนใหญ่ของอาหารแห้ง คือ เมื่อนำไปคืนรูปโดยการเติมน้ำหรือแช่น้ำ จะมีคุณภาพด้อยกว่าอาหารสดมาก ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค การที่จะทำให้ได้อาหาร ที่มีคุณภาพเหมือนกับอาหารสดนั้นเป็นเรื่องที่ยาก โดยเฉพาะการลดความชื้นอาหารให้ต่ำ มากๆ ซึ่งเป็นสภาวะที่อาหารมีอายุการเก็บรักษาที่ดี แต่เป็นเรื่องที่ยากมากที่จะทำให้อาหาร เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และการที่จะทำเช่นนั้นได้จะต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น จำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีในการทำแห้งอาหารให้ก้าวหน้าต่อไป

6.2 น้ำในอาหาร (Water Content of Foods)

อาหารทุกชนิดมีน้ำเป็นส่วนประกอบในปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน ตั้งแต่ 10 – 95 % (โดยน้ำหนัก) อาหารที่มีน้ำมากจะเสื่อมเสียเร็ว แต่ปริมาณน้ำเพียงอย่างเดียวไม่สามารถจะ เป็นตัวบ่งชี้ว่าอาหารนั้นจะเสื่อมเสียได้เร็วหรือช้า ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบของอาหารแตกต่างกัน นอกจากนี้ น้ำที่มีอยู่ในอาหารมีทั้งน้ำในรูปน้ำอิสระและน้ำที่จับกับโมเลกุลของสารอื่นๆ ใน ปริมาณที่แตกต่างกันด้วยพันธะต่างๆ ทางเคมี มีความแข็งแรง ความยากง่ายในการดึงน้ำออก จากอาหารแตกต่างกัน อาหารจึงเกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาทางเคมี เอนไซม์ และ จุลินทรีย์ในระดับที่ต่างกัน

น้ำที่มีอยู่ในอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. น้ำอิสระ (Free or unbound water)

คือ น้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในเซลล์พืช เซลล์สัตว์ ไซโทพลาสซึม ช่องว่างระหว่างเซลล์ ท่อส่งน้ำ และท่ออาหาร น้ำอิสระมีคุณสมบัติและพฤติกรรมเหมือนน้ำบริสุทธิ์ สามารถดึงออกจากอาหารได้ง่ายๆ โดยใช้พลังงานความร้อนและแสงในช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วคงที่ (Constant drying rate) (Barbosa-Canovas & Vega-Mercado, 1996)

น้ำอิสระเป็นน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา และเป็นน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ เรียก น้ำส่วนนี้ว่า Available water หรือ Water activity (a_w) สามารถหาได้ดังสมการ

$$a_w = p/p_0 = E.R.H./100$$

$$a_w = \text{Available water}$$

$$p = \text{ความดันไอของน้ำในอาหาร}$$

$$p_0 = \text{ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน}$$

$$E.R.H. = \text{ความชื้นสัมพัทธ์ที่จุดสมดุล}$$

2. น้ำไม่อิสระ (Bound water)

คือ น้ำที่โมเลกุลไปเกาะเกี่ยวกับโมเลกุลของสารเคมีหรือสารประกอบอื่นๆ ในอาหาร โดยพันธะต่างๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะแวนเดอวาล์ว (Van der Waals) การจับกันโดยพันธะต่างๆ มีผลต่อความแข็งแรง ความยากง่ายในการทำละลายพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของสารอื่นๆ ส่งผลต่อค่า a_w ของอาหารดังนี้

2.1. น้ำที่จับกับโมเลกุลอื่นอย่างเหนียวแน่น (Tightly bound water) โดยแรงที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจน น้ำส่วนนี้จะถูกอาหารดูดซับไว้รอบๆ เป็นฟิล์มบางๆ เพียงชั้นเดียว มีความคงตัวมาก ไม่สามารถดึงออกจากอาหาร ไม่ว่าจะใช้แรงหรืออุณหภูมิที่สูงเพียงใดก็ตาม เช่น ในกรณีที่น้ำจับกับโมเลกุลของกลีโคไซด์ไฮดรอกไซด์ หรือ กลีโคออลเปอรซ์ซัลเฟต อาหารที่มีน้ำอยู่ในลักษณะนี้จะมีค่า a_w น้อยกว่า 0.3

2.2. น้ำที่จับกับโมเลกุลอื่นอย่างเหนียวแน่นปานกลาง (Moderately bound water) อาหารที่มีน้ำอยู่ในลักษณะนี้จะมีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.7

2.3. น้ำที่จับกับโมเลกุลอื่นอย่างหลวมๆ (Loosely bound water) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของสารอื่น มีไม่มากนักถูกทำลายได้ง่าย โดยใช้พลังงานจากแสงหรือความร้อน ก็จะทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลน้ำกับสารอาหารหลุดออกจากกัน อาหารที่มีน้ำอยู่ในลักษณะนี้ จะมีค่า a_w มากกว่า 0.8

น้ำไม่อิสระจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างจากน้ำบริสุทธิ์ คือ มีความดันไอต่ำกว่าและมีการเคลื่อนที่น้อยกว่าน้ำบริสุทธิ์ แต่ทำให้จุดเยือกแข็งลดต่ำลงได้มากกว่าน้ำบริสุทธิ์

6.2.1 วอเตอร์แอกติวิตี (Water activity , a_w)

ในการถนอมอาหารจะให้ความสำคัญกับลักษณะที่น้ำจับกับโมเลกุลของสารอื่นๆ ในอาหารมากกว่าจะพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร การที่น้ำในอาหารจับกับโมเลกุลของสารอื่น ทำให้มีค่า a_w ต่ำลง ยิ่งอาหารมีสารที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลหรือเกลือมากเท่าไร โมเลกุลของน้ำจะถูกจับมากขึ้น ค่า a_w จะยิ่งต่ำลง

a_w ของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญเกี่ยวข้องกับการเจริญและการผลิตสารพิษของจุลินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เนื้อสัมผัสและโครงสร้างของอาหาร ตลอดจนถึงคุณค่าทางโภชนาการ ลักษณะทางประสาทสัมผัส เช่น กลิ่นหอม และกลิ่นรส และอายุการเก็บรักษา ดังตารางที่ 6.1 ดังนี้

ตารางที่ 6.1 ความสำคัญของ a_w ในอาหาร

a_w	ปรากฏการณ์	ตัวอย่าง
1.00		อาหารสดซึ่งเสื่อมเสียง่ายมาก
0.95	ยับยั้ง <i>Pseudomonas</i> sp. <i>Bacillus</i> sp. <i>Clostridium perfringens</i> และ ยีสต์บางชนิด	อาหารซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำตาล 40 % หรือ เกลือ 7 % ไส้กรอกต้ม ขนมปัง
0.90	a_w ต่ำสุดที่แบคทีเรียทั่วไปจะเจริญได้ แต่ <i>Salmonella</i> sp. <i>Vibrio parahaemolyticus</i> <i>Clostridium botulinum</i> <i>Lactobacillus</i> sp. และ ยีสต์ ราบางชนิดถูกยับยั้ง	อาหารซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำตาล 55 % หรือ เกลือ 12 % แฮมหมัก เนยแข็งที่บ่มปานกลาง อาหารที่มีความชื้นปานกลาง ($a_w=0.90-0.55$)
0.85	ยีสต์ส่วนใหญ่ถูกยับยั้ง	อาหารซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำตาล 65 % หรือ เกลือ 15 % มากาριν เนยแข็งที่ผ่านการบ่ม มาเต็มที่แล้ว
0.80	a_w ต่ำสุดที่เชื้อราส่วนใหญ่จะเจริญได้ และ กิจกรรมของเอนไซม์ ส่วน <i>Staphylococcus</i> <i>aureus</i> ถูกยับยั้ง	แป้ง ข้าว (น้ำ 15-17 %) เด็กผลไม้ นมข้น หวาน น้ำเชื่อมผลไม้
0.75	a_w ต่ำสุดที่ฮาโลฟิลิกแบคทีเรียจะเจริญ	แยม
0.70	a_w ต่ำสุดที่เชื้อราในกลุ่มซีโรฟิลิกจะเจริญ	
0.65	ปฏิกิริยา เมลลาร์ดเกิดขึ้นในอัตราเร็วสูงสุด	ข้าวโอ๊ตคั่ว (น้ำ 10 %) พัด กากน้ำตาล นัท
0.60	a_w ต่ำสุดที่ออสโมฟิลิกยีสต์และเชื้อราในกลุ่มซี โรฟิลิกจะเจริญ	ผลไม้แห้ง (น้ำ 15-20 %) ท็อปปี้ คาราเมล (น้ำ 8 %) น้ำผึ้ง
0.55	Deoxyribonucleic acid เริ่มผิดปกติ และเป็น ระดับต่ำสุดที่สิ่งมีชีวิตจะยังมีชีวิตอยู่ได้	
0.50		อาหารแห้ง ($a_w = 0-0.55$) เครื่องเทศ บะหมี่
0.40	ความเร็วในการเกิดออกซิเดชันต่ำสุด	ไข่ผงจากไข่ทั้งฟอง (น้ำ 5%)
0.30		แคร์ริกเกอร์ เปลือกขนมปัง (น้ำ 3-5%)
0.25	สปอร์แบคทีเรียมีความต้านทานความร้อน สูงสุด	
0.20		นมผงพร้อมมันเนย (น้ำ 2-3%) ผักแห้ง (น้ำ 5%) ข้าวโพดแผ่น (น้ำ 5%)

ที่มา : Fellow (1990)

1. การเจริญและการผลิตสารพิษของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย ยีสต์ และรา เจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำมาก a_w สูง เมื่อ a_w ลดต่ำลง จุลินทรีย์ก็จะเจริญช้าลง ระยะเวลาในช่วง Logarithmic phase เพิ่มขึ้น การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ต้องใช้เวลานานขึ้น และเมื่อ a_w ลดลงถึง 0.60 จุลินทรีย์จะหยุดการเจริญ สำหรับการผลิตสารพิษ จุลินทรีย์จะผลิตสารพิษที่ a_w ที่สูงกว่า a_w ที่ต้องการสำหรับการเจริญ ดังนั้นสามารถใช้หลักการของ a_w มาใช้ในการถนอมอาหารได้ โดยการลดปริมาณ a_w ถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ การลด a_w ของอาหารให้ต่ำลง สามารถทำได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

1) การดึงน้ำออกจากอาหาร โดยการทำให้แห้ง การทำให้เข้มข้น และการแยกน้ำออกโดยการหมุนเหวี่ยง การกรองผ่านเมมเบรน

2) การเติมสารที่ละลายได้ลงไปในการอาหารเพื่อลด a_w ของอาหาร และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติและลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหาร เช่น การเติมเกลือในผลิตภัณฑ์เนื้อและปลา การเติมน้ำตาลลงในผลไม้ สารที่เติมลงไปจะต้องมีคุณสมบัติ คือ ปลอดภัย ให้ผลดีที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม ไปกันได้กับอาหาร โดยไม่ไปทำให้เกิดการเปลี่ยนสีและกลิ่น

2. การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเอนไซม์

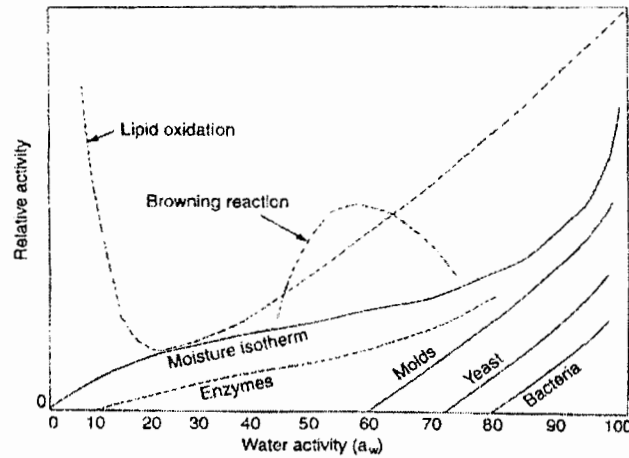
ปฏิกิริยาที่เกิดจากเอนไซม์ในอาหารจะถูกยับยั้งที่ a_w ต่ำกว่า 0.75 เกิดจากการแข่งขันระหว่างเอนไซม์และสับซเตรท ในสภาวะที่ a_w ต่ำ ความเข้มข้นของสับซเตรทสูง แต่นิยมยับยั้งเอนไซม์โดยการให้ความร้อนในระยะเวลาสั้น ๆ เช่น การลวกผัก

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ได้เกิดจากเอนไซม์ เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะมีอัตราเร็วสูงสุดในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ มี a_w อยู่ในช่วง 0.65 - 0.75 สามารถใช้อธิบายการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำให้เข้มข้นและอาหารแห้ง (ภาพที่ 6.1)

การออกซิเดชันของไขมันในสภาวะที่มี a_w ต่ำ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เพราะการเคลื่อนที่ของน้ำถูกจำกัด และขาดเรดิเคอร์อิสระ ที่ a_w ที่สูงกว่าชั้นมอโน อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการละลายของไอออนของโลหะที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดเรดิเคอร์อิสระมีเพิ่มมากขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เนื้อสัมผัสและโครงสร้างของอาหาร

a_w มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหาร อธิบายจากไอโซเทอม(ภาพที่ 6.2)ได้ดังนี้ บริเวณที่ 1 a_w ต่ำ เนื้อสัมผัสของอาหารจะแห้ง แข็ง กรอบ บริเวณที่ 2 a_w ระดับกลาง เนื้อสัมผัสของอาหารจะแห้ง แน่น ยืดหยุ่น บริเวณที่ 3 a_w สูง เนื้อสัมผัสของอาหารจะแฉะ ชุ่มฉ่ำ นุ่ม บวม พอง และเหนียว



ภาพที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับการเปลี่ยนแปลงของอาหาร
ที่มา : Baker (1997)

ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับเนื้อสัมผัสอาหาร

ชนิด	Crispness	Chewiness	Toughness
ธัญชาติ		<0.40	>0.50
ผลไม้	>0.30	<0.50	<0.30
น้ำตาล		<0.65	

ที่มา: Bone (1987) อ้างถึงใน Rahman(1999)

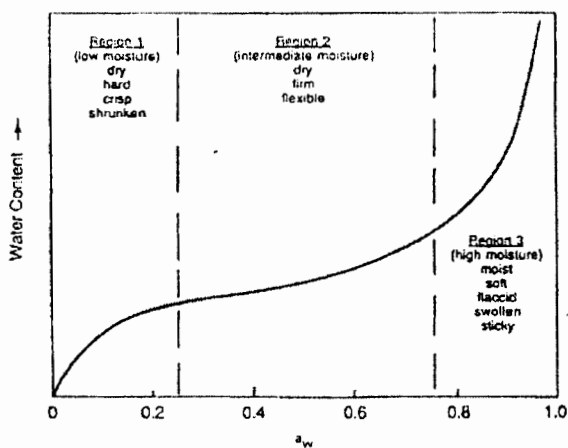
6.2.2 ซอร์พชันไอโซเทอมของอาหาร

ไอโซเทอมของอาหาร คือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ ปริมาณความชื้นของอาหารที่อุณหภูมิที่กำหนด สามารถแสดงใน 2 ลักษณะ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความชื้นสัมพัทธ์ และความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับปริมาณน้ำ แต่นิยมแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ ปริมาณน้ำมากกว่า (ภาพที่ 6.2) เส้นโค้งไอโซเทอมของอาหารจะมีลักษณะคล้ายตัวอักษรเอส (S, Sigmoid Shape) แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 น้ำในส่วนนี้จะจับกับตำแหน่งที่เป็นโพลาร์ของอาหาร โดยแรงกระทำแบบน้ำกับไอออนหรือน้ำกับไดโพล น้ำจะถูกจับกับโมเลกุลอาหารโดยเอนทาลปีของการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซสูงกว่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ น้ำในส่วนนี้มีคุณสมบัติเป็นส่วนหนึ่งของอาหาร ไม่สามารถทำให้น้ำส่วนนี้แข็งตัว ไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย ดอน

ปลายของส่วนที่ 1 จะเป็นน้ำที่อาหารแห้งดูดซับไว้ เป็นฟิล์มบางๆเพียงหนึ่งชั้นโมเลกุล (monomolecular layer) เป็นน้ำที่มีความแข็งแรงและความคงตัวมาก ไม่มีการเคลื่อนที่ ไม่สามารถดึงออกจากอาหาร และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ ในส่วนนี้อาหารจะมี a_w อยู่ในช่วง 0.2

ส่วนที่ 2 น้ำในส่วนนี้เป็นน้ำที่อาหารดูดซับเพิ่มขึ้นจากชั้นโมโน หลายชั้นโมเลกุลของน้ำ มีการเกาะกันอย่างหลวมๆ โดยพันธะไฮโดรเจน โดยพลังงานในการยึดเกาะมีความแข็งแรงน้อยกว่าชั้นโมโน น้ำในชั้นนี้เคลื่อนที่ได้เพียงเล็กน้อย ไม่แข็งตัว และไม่สามารถเข้าไปเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางชีวเคมีได้ เอนทาลปีของการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซสูงกว่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของของเหลวบริสุทธิ์เล็กน้อย ในส่วนนี้อาหารจะมี a_w อยู่ในช่วง 0.2 – 0.65



ภาพที่ 6.2 ซอร์พชันไอโซเทอม

ที่มา : Rahman (1999)

น้ำในส่วน 1 และ 2 มีปริมาณเพียง 5 % ของน้ำทั้งหมดในอาหารที่มีความชื้นสูง ส่วนที่ 3 เป็นน้ำที่อยู่ตามช่องว่าง ท่อน้ำ ท่ออาหาร น้ำส่วนนี้เป็นน้ำอิสระ เคลื่อนที่ได้ แข็งตัวได้ เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ น้ำในส่วนนี้มีมากกว่า 95 % ในอาหารที่มีความชื้นสูง การระเหยของน้ำส่วนนี้ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเหมือนน้ำในส่วนที่ 1 และ 2 การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของน้ำในส่วนนี้ทำให้ค่า a_w เปลี่ยนไปมาก

เส้นไอโซเทอมของอาหารเป็นข้อมูลพื้นฐานทำให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงความชื้น การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีขององค์ประกอบในอาหาร การเสื่อมเสียจากการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังใช้ในการออกแบบกระบวนการผลิต ภาชนะบรรจุ และสภาวะการเก็บรักษา

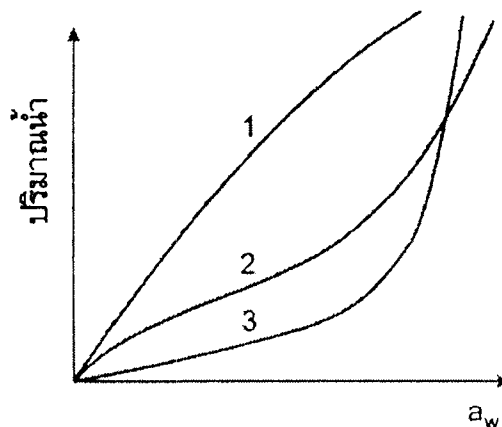
6.2.3 ฮิสเตอรีซิส (Hysteresis)

เส้นไอโซเทอมจะมี 2 ลักษณะ คือ เส้นแอดซอร์พชันไอโซเทอม(adsorption isotherm) และเส้นดีซอร์พชันไอโซเทอม(desorption isotherm)

แอดซอร์พชันไอโซเทอมเป็นเส้นไอโซเทอมของการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เริ่มที่ค่า $a_w = 0$ ใช้สำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นของอาหารที่ดูดความชื้นง่าย น้ำจะถูกดูดซับที่ผิวหน้าของอาหารที่ชั้นโมโนก่อน ถัดมาจึงเป็นชั้นมัลติ (Multilayer) น้ำในชั้นนี้จะอยู่ตามท่อ รูพรุน ช่องว่างในอาหาร และอยู่ในรูปสารละลาย แตกต่างกันไปตามชนิดและลักษณะโครงสร้างของอาหาร

ความไวของอาหารแห้งต่อความชื้นและการดูดซับน้ำสามารถพิจารณาได้จาก แอดซอร์พชันไอโซเทอม Kaminski & Kudra (2000) แสดงรูปร่างของแอดซอร์พชันไอโซเทอมมี 3 แบบตามชนิดของวัสดุ คือ แบบที่ 1 วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นมาก แบบที่ 2 วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นปานกลาง แบบที่ 3 วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นต่ำ ดังภาพที่ 6.3

โดยทั่วไปแล้วอาหารที่ทำแห้งมักดูดความชื้นเพื่อให้ถึงความชื้นสมดุล ในกรณีของอาหารและผลิตภัณฑ์ชีวภาพ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับในระดับชั้นโมโนเป็นระดับที่เหมาะสมที่จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและดำรงชีวิต



ภาพที่ 6.3 ซอร์พชันไอโซเทอมของวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น

1) มาก 2) ปานกลาง 3) ต่ำ

ที่มา:Kaminski & Kudra (2000)

ส่วนเส้นดีซอร์พชันไอโซเทอมเป็นเส้นไอโซเทอมของการคายน้ำในอาหารที่มีความชื้นสูง เริ่มที่ค่า $a_w = 1.0$ มีประโยชน์ในการติดตามกระบวนการอบแห้ง

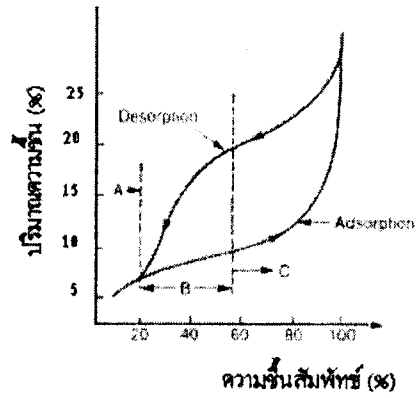
ในอาหารชนิดเดียวกันเมื่อนำไปอบแห้งอาหาร น้ำถูกดึงออกจากอาหารจนกระทั่งอาหารมีค่า a_w ตามที่ต้องการ ได้เส้นดีซอร์พชัน เมื่อนำอาหารที่ทำแห้งมาคืนรูปอาหารจะดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่มีค่า a_w ดังเส้นแอสซอร์พชัน จะเห็นว่าที่ค่า a_w เท่ากัน อาหารทั้งสอง จะมีปริมาณความชื้นไม่เท่ากัน เส้นดีซอร์พชันมีปริมาณความชื้นสูงกว่าเส้นแอสซอร์พชันและอยู่ด้านบนของเส้นแอสซอร์พชัน ความแตกต่างของปริมาณน้ำระหว่างเส้นแอสซอร์พชันและเส้นดีซอร์พชัน เรียก ฮิสเตอร์ซิส (ภาพที่ 6.4) ซึ่งแตกต่างกันแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ อาหารที่มีน้ำตาลและเพ็กทินมาก เช่น ผลไม้ อาหารพวกโปรตีน และอาหารพวกแป้ง ฮิสเตอร์ซิสจะมีรูปร่างแตกต่างกันดังภาพที่ 6.5 นอกจากนี้ฮิสเตอร์ซิสยังแตกต่างกันตามอุณหภูมิที่ใช้อีกด้วย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จำนวนน้ำที่ถูกดูดซับลดลง การดูดความชื้นลดลง ยกเว้นในอาหารที่มีสารประกอบ เช่น น้ำตาล สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถละลายน้ำได้ดี ดูดความชื้นได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้มีค่า a_w เพิ่มขึ้นที่ความชื้นเท่ากัน มีผลทำให้เกิดการเสื่อมเสีย (Kaminski & Kudra,2000)

6.3 การทำแห้ง

การทำแห้งเป็นกระบวนการที่น้ำถูกดึงออกจากอาหารเพื่อหยุดหรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสีย เช่นเดียวกับการชะลอปฏิกิริยาเคมี

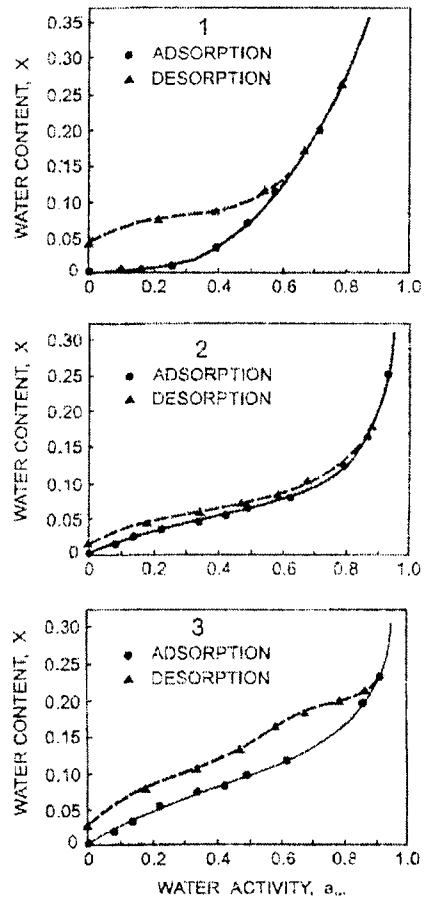
คำว่า dried และ dehydration มีความหมายต่างกัน กระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกาให้นิยามไว้ว่า dehydration food คือ อาหารแห้งที่มีความชื้นไม่เกิน 2.5 % (น้ำหนักแห้ง) ขณะที่ dried food ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการกำจัดน้ำออก ซึ่งมีปริมาณน้ำสูงกว่า 2.5 % (น้ำหนักแห้ง)

การตากแห้งอาหาร (food drying) หมายถึง การทำแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ เช่น การตากแดด ส่วนการทำแห้งอาหาร(food dehydration) หมายถึง การทำแห้งโดยอาศัยเครื่องมือในการอบแห้ง เช่น ตู้อบ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) และอื่นๆ ภายใต้สภาวะที่มีการควบคุม (Potter & Hotchkiss,1995)



ภาพที่ 6.4 ฮิสเตอรีซิส

ที่มา : Fellow (1990)



ภาพที่ 6.5 ฮิสเตอรีซิสของ 1)อาหารที่มีน้ำตาลและเพ็กทินมาก

2)อาหารพวกโปรตีน 3)อาหารพวกแป้ง

ที่มา:Kaminski & Kudra (2000)

การทำแห้งในทางอุตสาหกรรมจะเป็นการดึงน้ำออกจากอาหารเกือบทั้งหมดภายใต้สภาวะที่มีการควบคุม โดยไม่ทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือเกิดน้อยที่สุดและอาหารจะมีความชื้นอยู่ในช่วง 1 – 5 % เช่น ไข่ผง นมผง กาแฟชนิดขงละลายทันที และน้ำส้มผงบเป็นต้น อาหารเหล่านี้มีความคงตัวมาก สามารถเก็บไว้ในบรรยากาศปกติได้นานกว่า 1 ปี แต่ในกรณีของการทอด คั่ว อบ ย่าง และการทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออก เช่น มันฝรั่งทอด น้ำนมข้นระเหย ไม่จัดเป็นการถนอมอาหารโดยการทำแห้ง (Potter & Hotchkiss,1995)

6.3.1 จุดประสงค์ในการทำแห้ง

ในการทำแห้งอาหารมีจุดประสงค์หลักเพื่อถนอมอาหาร แต่ไม่ใช่เหตุผลเดียวยังมีเหตุผลอื่นๆ อีก สามารถสรุปจุดประสงค์ในการถนอมอาหารโดยการทำแห้งได้ ดังนี้

1. เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหาร ทำให้มีค่า A_w ลดต่ำลง ช่วยป้องกันการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์

2. เพื่อลดน้ำหนักและขนาดของอาหาร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง ลดพื้นที่ และค่าใช้จ่าย ตัวอย่างเช่น น้ำส้มมีของแข็งที่ละลายได้อยู่เพียง 8 % ถ้าดึงน้ำออกทั้งหมดสามารถลดน้ำหนักลงเหลือเพียง 1 ใน 8 เท่านั้น ดังนั้นน้ำส้ม 237 มล. (8 fl oz.) ถ้าดึงน้ำออกจะมีส่วนที่เป็นของแข็งอยู่เพียง 28 กรัม (1 oz.) การคืนรูปสามารถทำได้โดยการเติมน้ำลงไป 207 มล.(7 fl oz.) โดยวิธีนี้สามารถลดทั้งน้ำหนักและปริมาตร ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและภาชนะบรรจุลดลง (Potter & Hotchkiss,1995)

3. เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ที่มีลักษณะและกลิ่นรสเฉพาะ เช่น ลูกเกด ลูกพรุน หมูแผ่น หมูหยอง และกุนเชียง เป็นต้น

4. เพื่อให้เกิดความสะดวกในการบริโภค เช่น ชา กาแฟ และมันฝรั่งบดละเอียด ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ต้องผ่านกระบวนการหมัก การต้ม และการอบ มาก่อนที่จะอบแห้ง ผู้บริโภคเพียงนำมาเติมน้ำ กวนหรือคน ก็สามารถบริโภคได้เลย

ในการทำแห้งความชื้นที่เหลืออยู่ในอาหารแห้งแต่ละชนิดโดยอาหารไม่เสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณไม่เท่ากัน ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ปลา และผลิตภัณฑ์นม ความชื้นสุดท้าย 3 % หรือต่ำกว่า ผักแห้ง เช่น พริกแห้ง ต้นหอมแห้ง เห็ดหอมแห้ง ไม่เกิน 5 % ผลิตภัณฑ์จากธัญชาติไม่เกิน 12 % พืชหัว เช่น มันเทศ เผือก มันฝรั่ง ไม่เกิน 14 % ผลไม้แห้ง เช่น องุ่น กัวยาว มะม่วง ไม่เกิน 15 – 23 % (Rahman & Perera,1999)

การกำหนดความชื้นสุดท้ายในการทำแห้งอาหารชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบของอาหาร รูปแบบการบริโภค และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร กล่าวคือ อาหารที่มีน้ำตาล

เป็นส่วนประกอบสูง เช่น ผลไม้ หรือ มีการใช้น้ำตาลและเกลือร่วมกับการทำแห้ง สามารถทำแห้งโดยให้มีความชื้นเหลืออยู่สูง ทั้งนี้เพราะน้ำตาลและเกลือที่เติมลงไปจะไปจับกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้มีค่า a_w ต่ำ แม้จะมีปริมาณน้ำอยู่สูงก็ตาม

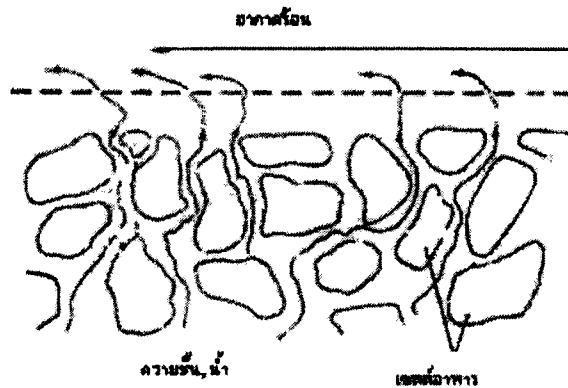
อาหารแห้งที่นำมาบริโภคโดยตรงโดยไม่ผ่านการคินรูปก่อน เช่น ผลไม้แห้ง ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคต้องการ คือ เนื้อนิ่ม มีความหยุ่น ความฉ่ำน้ำ และไม่แข็งกระด้าง ลักษณะดังกล่าวขึ้นกับปริมาณน้ำ ในการอบแห้งผลไม้และอาหารที่จำเป็นต้องมีความชื้นเหลืออยู่ในปริมาณสูง มีค่า a_w หลังการอบแห้งอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย สามารถลด a_w ให้ต่ำลง โดยเติมสารที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลหรือเกลือลงไป โดยการแช่หรือการดองก่อนการอบแห้ง

6.3.2 การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหาร

การทำแห้งเป็นการดึงน้ำออกจากอาหารโดยการระเหย การระเหยเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารใน 2 ระดับ คือ การเคลื่อนที่จากภายในอาหารไปสู่ผิวหน้าของอาหาร และจากผิวหน้าไปสู่อากาศ (ภาพที่ 6.6) การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. การไหลออกแบบกระจายตัวซึมผ่าน (Diffusion flow mechanism)

เกิดขึ้นกับอาหารที่มีเนื้อแน่นมาก น้ำจะกระจายตัวและซึมผ่านผนังเซลล์ ซึ่งมีลักษณะเป็น Semipermeable membrane จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง การเคลื่อนที่ของน้ำในลักษณะนี้จะเป็นการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ



ภาพที่ 6.6 การเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการทำแห้ง
ที่มา : Fellow (1990)

2. การไหลออกแบบท่อเล็ก ๆ (Capillary flow mechanism)

เกิดขึ้นกับอาหารที่มีลักษณะโปร่ง มีรูพรุนขนาดใหญ่ และเป็น การเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่ตามช่องว่างระหว่างเซลล์ ท่อส่งน้ำ และท่อแคปิลลารี

6.3.3 กลไกในการทำแห้ง

ในอาหารหรือสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ไปในช่วงแรกของการทำแห้ง การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารจะเป็นแบบ Capillary flow mechanism ทั้งนี้เพราะน้ำในอาหารยังมีปริมาณมากและอาหารจัดเป็นพวกที่มีรูพรุนมาก ดังนั้นเมื่อผิวหน้าของอาหารได้รับความร้อน จะเกิดการขยายตัวของอากาศ เกิดความแตกต่างของความดันไอ ทำให้เกิดแรงดึงดูดให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นมาตามรูพรุน คล้ายกับว่ามีท่อเล็กๆ ติดอยู่ตรงรูพรุนนั้น ยิ่งอากาศขยายตัวมากเท่าไร ยิ่งมีแรงดึงดูดในท่อมากขึ้นเท่านั้น น้ำที่ซึมผ่านออกมาสู่ผิวหน้าจะถูกลมร้อนพัดพาไป ทำให้เกิดบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำที่ผิวหน้าของอาหาร และความดันไอที่ลดต่ำลงเกิดจากความชื้นภายในอาหารกับอากาศแห้ง ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนในการกำจัดน้ำออกจากอาหาร เมื่อน้ำที่อยู่ตามรูพรุนหมดไป ก็จะเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบ Diffusion flow mechanism หรือก็คือ Molecular diffusion โดยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเกิดจากการซึมผ่านของน้ำจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งที่อยู่ติดกัน และซึมเข้าไปสู่เซลล์ที่อยู่ติดกับรูพรุน น้ำจะระเหยออกไปทางรูพรุนนั้น ซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนทำให้อาหารแห้ง

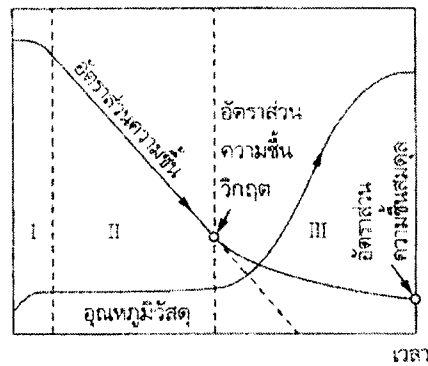
6.4 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

(Drying Characteristic Curve)

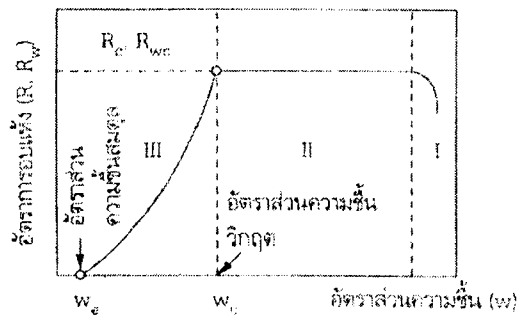
การอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่ คือ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่ จะมีการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งตามระยะเวลาการอบแห้ง แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังภาพที่ 6.7 ดังนี้

ช่วงที่ 1 อาหารที่นำมาอบแห้งสัมผัสกับลมร้อน ทำให้อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้น จนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อน ช่วงนี้เป็นช่วงสั้นๆ อาหารได้รับความร้อน แต่ไม่มีการระเหยของน้ำ ในการคำนวณหาระยะเวลาในการอบแห้ง มักจะไม่ให้ความสำคัญ ไม่เอาเวลาช่วงนี้มาคำนวณ

ช่วงที่ 2 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) ในช่วงนี้ น้ำอิสระจะถูกดึงออกจากอาหาร โดยน้ำเคลื่อนที่จากภายในอาหารมาที่ผิวของอาหารอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผิวของอาหารเปื่อยขึ้น อุณหภูมิของอาหารจะมีค่าคงที่เท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสมร้อน ความร้อนที่อาหารได้รับในช่วงนี้ถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นเท่านั้น อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของอาหารจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลา อัตราเร็วในการระเหยมีค่าคงที่ และจะมีค่าคงที่ตรงเท่าที่การเคลื่อนที่ของน้ำมาที่ผิวของอาหารสมดุลกับการระเหยที่ผิวหน้า



ก) เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง



ข) อัตราการอบแห้ง

ภาพที่ 6.7 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งและอัตราการอบแห้ง
ที่มา : วิรุพ์ห์ ดัชนีพะพานิชกุล และ Tamon (2548)

อัตราการอบแห้ง (R) หมายถึง ความชื้นที่ระเหยออกไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา เป็นปอนด์น้ำต่อตารางฟุตต่อชั่วโมง หรือกิโลกรัมน้ำต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

อัตราเร็วในการทำแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่นี้ ขึ้นกับความแตกต่างของความดันไอของน้ำที่ผิวหน้าของอาหารกับลมร้อน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของลมร้อน คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมร้อน และพื้นที่ผิวของอาหารที่สัมผัสกับลมร้อน

อากาศที่อยู่รอบๆ อาหารจะทำหน้าที่เป็นฉนวน ป้องกันการส่งผ่านความร้อนและไอน้ำ ความหนาของชั้นฟิล์มนั้นขึ้นกับความเร็วของลม ถ้าใช้ความเร็วต่ำมาก ไอน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้าของอาหารก็จะไปเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรอบๆ ทำให้ความแตกต่างของความดันไอน้ำลดลง และอัตราการอบแห้งลดลง ผลที่เกิดขึ้นจะคล้ายกันไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิของอากาศร้อนลดลงหรือความชื้นเพิ่มขึ้น

ช่วงที่ 3 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) เป็นช่วงที่ปริมาณน้ำที่ผิวของอาหารลดลง ปริมาณความชื้นในอาหารลดลงต่ำกว่าความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) คือ ความชื้นที่มีอยู่ในอาหาร ณ เวลาที่อัตราเร็วในการอบแห้งเริ่มลด เป็นจุดสุดท้ายของช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และเป็นจุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งจากอัตราการอบแห้งคงที่เป็นอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) การอบแห้งต่อจากนี้ไปจะมีอัตราการอบแห้งต่ำลงเรื่อยๆ เนื่องจากน้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยไปจนหมด การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมาที่ผิวเกิดขึ้นไม่ทันการระเหยของน้ำที่ผิว ดังนั้นผิวของอาหารอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิจึงอาหารจะเริ่มสูงขึ้นเกือบถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศร้อน ความเร็วของการอบแห้งลดลง ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ยาวนานที่สุดในการอบแห้ง ความเสียหายที่เกิดกับอาหารเนื่องจากความร้อนมักเกิดขึ้นในช่วงนี้ เมื่อความชื้นลดลงถึงอัตราส่วนความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) คือ ความชื้นของอาหารจะเท่ากับความชื้นของกระแสลมร้อน ไม่มีการระเหยน้ำเกิดขึ้นอีก ความชื้นจะไม่ลดต่ำกว่านี้แม้จะอบแห้งต่อไป ถือว่าการอบแห้งนั้นสิ้นสุด แต่ถ้าต้องการให้อาหารมีความชื้นต่ำกว่านี้ จะต้องเปลี่ยนความชื้นของกระแสลมร้อนให้ต่ำลงอีก ดังนั้นความชื้นสุดท้ายของอาหารจะอยู่ในระดับต่ำเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับอุณหภูมิจึงอากาศร้อนและความหนาของชั้นอาหาร ความชื้นสัมพัทธ์ (ยกเว้นในการหาความชื้นสมดุล) ส่วนความเร็วลมไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้งในช่วงนี้ อุณหภูมิของอากาศร้อนนั้นจะต้องมีการควบคุม แม้ว่าความเร็วลมและอุณหภูมิจะมีความสำคัญในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่มากกว่า

อาหารที่ไม่เป็ยกขึ้นหรือมีความชื้นต่ำกว่าความชื้นวิกฤต เช่น เมล็ดพืช พืชตระกูลถั่ว และพืชหัว เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งอาจไม่มีช่วงที่ 1 และ 2 เลยก็ได้ โดยจะเริ่มต้นในช่วงที่ 3 ส่วนอาหารที่ดูความชื้นจะมีสองช่วง ช่วงแรกการระเหยจะอยู่ภายในอาหารและน้ำจะซึมผ่านของแข็งแห้งไปยังอากาศร้อน และจะสิ้นสุดเมื่อการระเหยเข้าถึงใจกลางของอาหาร ช่วงที่สองเกิดขึ้นเมื่อความดันไอน้ำต่ำกว่าความดันไอน้ำอิ่มตัว และการทำแห้งโดยการดีซอร์พชัน

6.5 วิธีการอบแห้งและเครื่องอบแห้ง

มนุษย์รู้จักการถนอมอาหารโดยการตากแห้งด้วยแสงแดด เพื่อลดความชื้นมาตั้งแต่โบราณ ต่อมาได้มีการประดิษฐ์เครื่องอบแห้งขึ้น เพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการอบแห้งและรักษาคุณภาพของอาหาร ปัจจุบันมีเครื่องอบแห้งมากมายหลากหลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งร้อน เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เครื่องอบแห้งแบบถาดหรืออุโมงค์ทั้งภายใต้สุญญากาศและบรรยากาศปกติ เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งแห้ง เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและอื่นๆ การเลือกใช้เครื่องอบแห้งแบบใดนั้น ขึ้นกับ ชนิดของอาหาร คุณภาพที่ต้องการ และค่าใช้จ่าย การทำแห้งอาหารบางชนิดระหว่างน้ำสัมผัสและแข็ง เครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ก็จะแตกต่างกันไป ทั้งนี้เพราะน้ำสัมผัสมีราคาที่สูงกว่าแข็ง และน้ำสัมผัสต่อความร้อนมากกว่าแข็ง ดังนั้นในการทำแห้งผู้ผลิตจะต้องใช้วิธีการที่ละเอียดอ่อน ไม่รุนแรง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวิธีที่มีราคาแพง นอกจากนี้เครื่องอบแห้งบางชนิดเหมาะสำหรับอาหารเหลวและไม่สามารถใช้กับอาหารที่เป็นของแข็ง ในขณะที่บางชนิดเหมาะสำหรับอาหารที่เป็นของแข็งหรือเป็นของผสมที่มีชิ้นอาหารอยู่ (ตารางที่ 6.3) เครื่องอบแห้งสามารถจัดแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้ คือ เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน โดยการพา แบบการนำความร้อนโดยลูกกลิ้งร้อน แบบสุญญากาศ เครื่องอบแห้งแต่ละชนิดจะมีลักษณะ ขนาด ประสิทธิภาพ และอัตราการอบแห้งต่างๆ กัน เหมาะสำหรับอาหารที่มีคุณสมบัติต่างๆ กัน

6.5.1 การตากแห้งด้วยแสงแดด

วิธีการเก่าแก่ ดันทุนดำ ตากในถาด หรือบนพื้นดิน เช่น มันสำปะหลัง องุ่น พลับ อินทผลัม ปลายหมีก และกุ้ง เป็นต้น แต่การตากแห้งใช้เวลานาน ขึ้นกับ สภาพดินฟ้าอากาศ มีการปนเปื้อนจากแมลง ฝุ่นละออง จุลินทรีย์ และสัตว์ นอกจากนี้อาหารอาจเกิดการเสื่อมเสียจากการหายใจ การหมัก และการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการตากแห้งที่ใช้เวลายาวนาน การตากแห้งด้วยแสงแดดมีข้อได้เปรียบด้านต้นทุนของพลังงานที่ใช้ต่ำ แต่กินเวลานาน และคุณภาพอาหารจะด้อยกว่าการใช้เครื่องอบแห้ง ไม่สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ปัจจุบันมีการพัฒนาตู้อบแสงอาทิตย์ขึ้น เพื่อใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ลดการปนเปื้อน เพิ่มอัตราการอบแห้ง ทำให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพและอาหารมีสุขอนามัยดีขึ้น และมีแนวโน้มที่จะมีการใช้มากขึ้นจากสถานการณ์ขาดแคลนพลังงานและสภาวะโลกร้อน

ตารางที่ 6.3 ชนิดของเครื่องอบแห้งที่ใช้กับอาหารเหลวและอาหารที่เป็นของแข็ง

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ชนิดของอาหาร
เครื่องอบแห้งโดยอากาศร้อนแบบการพา	
เตาเผา	ชั้น
ตู้อบ ห้องอบ แบบถาด	ชั้น กึ่งแข็งกึ่งเหลว ของเหลว
อุโมงค์	ชั้น
สายพานแบบต่อเนื่อง	กึ่งแข็งกึ่งเหลว ของเหลว
Belt trough	ชั้น
Air lift	ชั้นเล็ก ๆ เป็นผง
ฟลูอิดไดซ์เบด	ชั้นเล็ก ๆ เป็นผง
แบบพ่นฝอย	ของเหลว กึ่งแข็งกึ่งเหลว
เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	
แบบบรรยากาศปกติ	กึ่งแข็งกึ่งเหลว ของเหลว
แบบสุญญากาศ	กึ่งแข็งกึ่งเหลว ของเหลว
เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	
ชั้นสุญญากาศ	ชั้น กึ่งแข็งกึ่งเหลว ของเหลว
สายพานภายใต้สุญญากาศ	กึ่งแข็งกึ่งเหลว ของเหลว
แบบแช่เยือกแข็งแห้ง	ชั้น กึ่งแข็งกึ่งเหลว

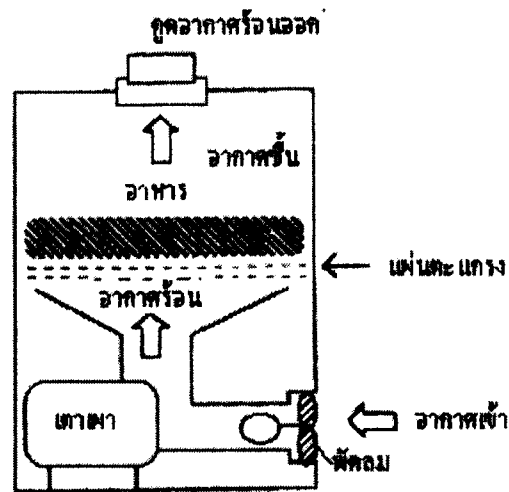
ที่มา : Potter & Hotchkiss (1995)

6.5.2 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา (Kiln Dryer)

เครื่องอบแห้งมีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยม มีสองชั้น ชั้นล่างมีเตาผลิตลมร้อน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลมร้อนโดยการพา ชั้นสูลู่ห้องด้านบน โดยวิธีธรรมชาติหรือใช้พัดลมเป่า หลังถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารที่จะอบแห้ง ซึ่งอยู่บนตะแกรงชั้นบน ลมร้อนจะเคลื่อนที่ออกทางด้านบน (ภาพที่ 6.8) การอบแห้งอาหารบางชนิดจะมีการเผากำมะถัน เพื่อให้เกิดซัลเฟอร์ช่วยรักษาสีของอาหาร

การอบแห้งวิธีนี้ใช้เวลานานและการควบคุมสภาวะการอบแห้งทำได้ยาก เพราะอาหารกองสุมกันทำให้อัตราการอบแห้งไม่สม่ำเสมอ ต้องคอยพลิกกลับชั้นอาหาร ทำให้สิ้นเปลือง

แรงงาน ไม่เป็นที่นิยม วิธีการนี้ไม่สามารถลดความชื้นของอาหารให้ต่ำกว่า 10 % แต่ยังคงมี
 การใช้ในการอบแห้งแอปเปิล ฮอป และมันฝรั่ง (Desrosier,1970)

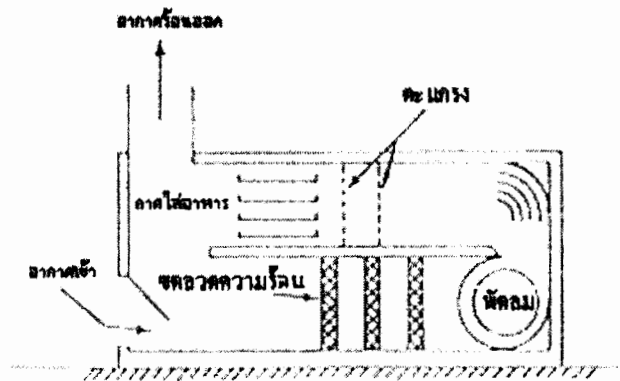


ภาพที่ 6.8 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา
 ที่มา : Desrosier (1970)

6.5.3 เครื่องอบแห้งแบบถาดหรือห้องอบ (Tray or cabinet dryer)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้อบแห้งอาหารเป็นชุดๆ ไม่ต่อเนื่อง ลักษณะเป็นตู้บุงฉนวน มีถาดใส่อาหารเป็นชั้นๆ อยู่ภายใน มีพัดลมเป่าให้ลมร้อนหมุนเวียน ลมร้อนอากาศจะเคลื่อนที่ตามแนวอนชนานกับถาดใส่อาหารหรือในแนวตั้งก็ได้ (ภาพที่ 6.9) แหล่งผลิตลมร้อนได้จากการเผาไหม้ก๊าซ ใช้น้ำ หรือขดลวดไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของลมร้อนภายในตู้อบเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่ออัตราการอบแห้ง ถ้าการเคลื่อนที่ของลมร้อนผ่านผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอจะมีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูง แต่อัตราการอบแห้งเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอที่ตำแหน่งต่างๆ ผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ใกล้ทางเข้าของลมร้อนจะแห้งเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่ตอนปลายของลมร้อน ซึ่งจะสัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นสูง ดังนั้นในระหว่างการอบแห้งต้องมีการสลับตำแหน่งของถาดหรือกลับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน ลมร้อนหลังถ่ายเทความร้อนและรับความชื้นจากอาหารแล้ว ก็จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ ไม่น่ากลับมาใช้อีก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยปกติแล้วลมร้อนหลังการอบแห้งยังคงมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต แต่ลมร้อนมีความชื้นสูง

การจะนำกลับมาใช้ต้องผ่านการกำจัดความชื้นโดยใช้ตัวดูดความชื้น เช่น ซิลิกาเจล หรือ ทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำโดยใช้เครื่องควบแน่นก่อน จึงจะนำกลับมาใช้ได้ มิฉะนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งลดต่ำลง



ภาพที่ 6.9 เครื่องอบแห้งแบบถาด

ที่มา : Van Arsdel, et.al (1973)

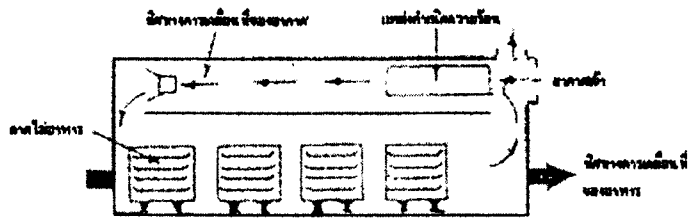
เครื่องอบแห้งชนิดนี้เหมาะสำหรับการผลิตขนาดเล็ก มีราคาไม่แพง ง่ายต่อการกำหนดสภาวะในการอบแห้ง สามารถอบแห้งอาหารในแต่ละครั้งได้มาก ใช้ได้กับลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 50 – 95 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน 10 – 40 % ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลมร้อนอยู่ในช่วง 2.5 – 5 เมตร/วินาที (Brennan, et al.1990., Krokida & Maroulis, 2000) นิยมใช้ในการอบแห้งผัก ผลไม้ ใช้เวลาประมาณ 10 – 20 ชั่วโมง

6.5.4 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel Dryer)

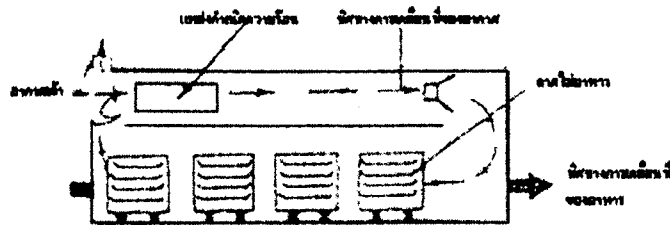
เครื่องอบแห้งชนิดนี้เป็นเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบต่อเนื่อง โดยนำผลิตภัณฑ์ที่จะอบแห้งใส่ในถาด วางบนชั้นรถเข็น ซึ่งมีหลายๆ คัน รถเข็นบรรจุอาหารจะเคลื่อนที่เข้าไปในอุโมงค์ที่มีลมร้อนเคลื่อนที่ผ่าน ถ้าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนถึงระดับความชื้นที่ต้องการใช้เวลา 10 ชั่วโมง รถเข็นแต่ละคันก็จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์เป็นเวลา 10 ชั่วโมง และมีความชื้นตามที่กำหนด ลมร้อนภายในอุโมงค์ถูกออกแบบให้มีการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ มีผลต่ออัตราการอบแห้งและคุณภาพของอาหาร ดังนี้

1. ลมร้อนและผลิตภัณฑ์อาหารเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน (Co-current)

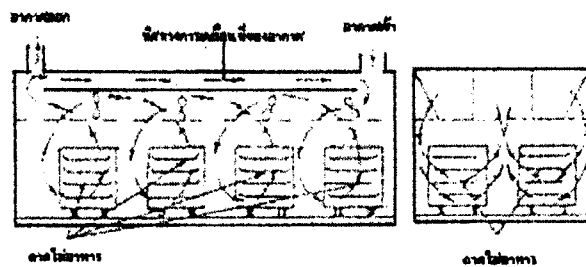
ลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงสุด ความชื้นต่ำสุด สัมผัสกับอาหารที่มีความชื้นสูง อัตราการอบแห้งในช่วงแรกสูง (ภาพที่ 6.10 ก) เมื่อชั้นอาหารเคลื่อนที่ต่อไป จะสัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำลง ความชื้นสูงขึ้น อัตราการอบแห้งในช่วงหลังจะต่ำ การที่อาหารสัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำในช่วงหลัง ทำให้ไม่สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับต่ำได้นอกจากนี้การอบแห้งวิธีนี้ยังอาจทำให้อาหารเกิด Case hardening เกิดการปริแตกภายในและเกิดรูพรุน (Potter & Hotchkiss, 1995) บางครั้งก็เป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์บางชนิด



(ก) การเคลื่อนที่แบบไปทางเดียวกัน



(ข) การเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน



(ค) การเคลื่อนที่แบบผสม

ภาพที่ 6.10 การเคลื่อนที่ของอากาศร้อนในเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์
ที่มา : Karel (1975)

2. ลมร้อนและผลิตภัณฑ์อาหารเคลื่อนที่สวนทางกัน (Countercurrent)

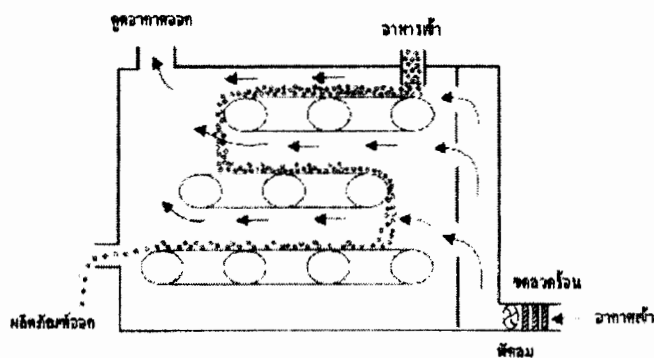
อัตราการอบแห้งในช่วงแรกต่ำ เนื่องจากอาหารมีความชื้นสูงสัมผัสกับลมร้อนที่สวนทางออกมาที่มีอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสูง (ภาพที่ 6.10 ข) เมื่ออาหารเคลื่อนที่ต่อไปก็จะสัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ความชื้นต่ำลง อาหารที่เกือบแห้งจะสัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูง อาหารมีโอกาสเสื่อมเสียเนื่องจากความร้อน แต่โดยวิธีนี้อาหารมีความชื้นสุดท้ายต่ำมาก เป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ประหยัด และไม่ทำให้อาหารเกิด Case hardening

ในการอบแห้งอาจทำเป็นสองขั้นตอน โดยให้มีการเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียวกับลมร้อนในตอนแรก แล้วตามด้วยแบบสวนทางกันในตอนที่สอง อัตราการอบแห้งสูงในช่วงแรก และผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายต่ำ

3. ลมร้อนเคลื่อนที่แบบสลับทิศทาง

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจะมีความชื้นสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนตลอดเวลา (ภาพที่ 6.10 ค) แต่เครื่องมือมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ราคาแพง และค่าบำรุงรักษาสูงกว่า 2 แบบแรก

เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์มีกำลังการผลิตสูงและผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ระบบสายพานแทนการใช้ชั้นรถเข็น ทำให้สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง โดยป้อนอาหารอย่างอัตโนมัติเป็นชั้นบางๆ บนสายพาน และสามารถเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่แห้งแล้วที่ปลายทางออกของอุโมงค์ นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของลมร้อนในลักษณะต่างๆ ได้เช่นเดียวกับการใช้ชั้นรถเข็น โดยเฉพาะแบบผสมนั้นทำได้ง่าย ๆ โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ยุ่งยากซับซ้อน เพียงแต่จัดทิศทางเคลื่อนที่ของสายพานเท่านั้น (ภาพที่ 6.11)



ภาพที่ 6.11 การเคลื่อนที่ของลมร้อนแบบผสมในเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์สายพาน
ที่มา: Barbosa-Canovas & Vega-Mercado(1996)

6.5.5 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งร้อนรูปทรงกระบอก ภายในมีแหล่งกำเนิดความร้อน ซึ่งอาจเป็นไอน้ำ ก๊าซร้อน หรือขดลวดไฟฟ้า ลูกกลิ้งอาจมีเพียงหนึ่งลูกหรือสองลูก หมุนในแนวนอน ใช้ออบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นของเหลวชั้นได้อย่างต่อเนื่อง การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการนำจากผิวของลูกกลิ้งไปสู่อาหาร มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส บางครั้งจะสูงถึง 150 องศาเซลเซียส อาหารที่มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร สามารถอบแห้งได้ภายในเวลา 1 นาที หรือน้อยกว่า ขึ้นกับ ชนิดของอาหารและความเร็วในการหมุนของลูกกลิ้ง แผ่นอาหารจะต้องแห้งพอดี เมื่อลูกกลิ้งหมุนไปจนถึงตำแหน่งที่มีใบมีดติดอยู่ ใบมีดจะทำหน้าที่ขูดแผ่นอาหารออกก่อนที่ลูกกลิ้งจะหมุนไปยังตำแหน่งที่อาหารเหลวที่เปียกจะถูกป้อนเข้ามาใหม่ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งบางชนิดอาจจะมีการติดตั้งปล่องเหนือลูกกลิ้งเพื่อดึงไอน้ำที่อยู่เหนือลูกกลิ้งออก และมีรางเพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วและนำออกไปสู่ขั้นตอนอื่นต่อไป

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกมี 2 ชนิด คือ

1. **แบบลูกกลิ้งเดี่ยว (Single drum)** ประกอบด้วย ลูกกลิ้งทรงกระบอกเพียง 1 ลูก ฟิล์มของผลิตภัณฑ์อาหารจะเกาะติดอยู่บนผิวของลูกกลิ้ง โดยเมื่อลูกกลิ้งที่จุ่มอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวหมุน ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวก็จะเกาะติดผิวลูกกลิ้ง หรืออาจใช้ลูกสูบเล็กๆ ฉีดพ่นผลิตภัณฑ์อาหารเหลวไปบนผิวของลูกกลิ้ง (ภาพที่ 6.12 ก)

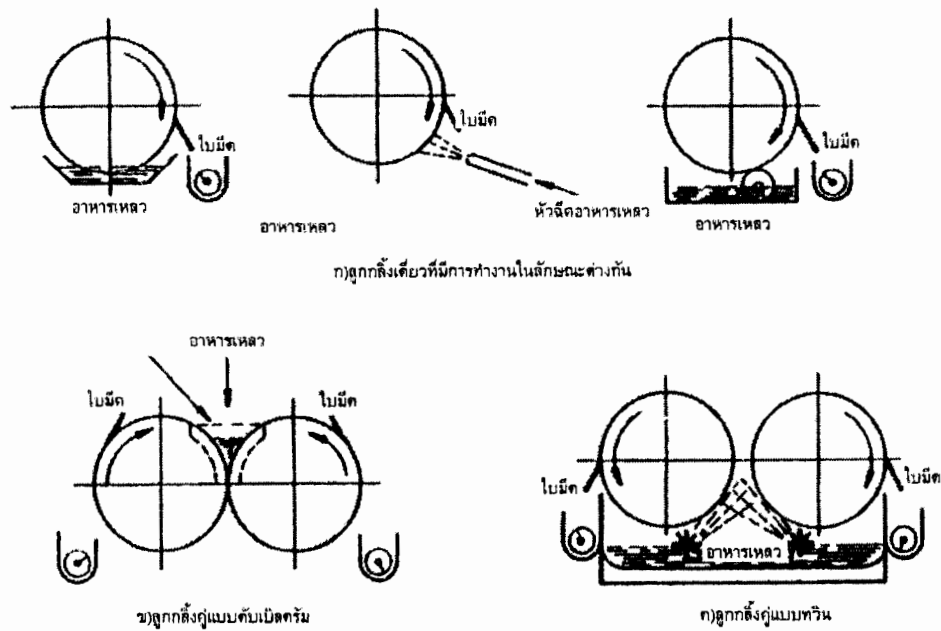
2. **แบบลูกกลิ้งคู่** ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก มี 2 ชนิดตามลักษณะการทำงานดังนี้

2.1. **ลูกกลิ้งคู่แบบดับเบิลดรัม (Double drum)** ลูกกลิ้งทั้งสองวางคู่กัน หมุนเข้าหากัน ป้อนอาหารเหลวทางด้านบนตรงบริเวณที่ลูกกลิ้งแตะหรือสัมผัสกัน (ภาพที่ 6.12 ข) ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งสามารถปรับเพื่อให้ได้ความหนาของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ความหนาของผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้องกับอัตราการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 2.5×10^{-4} ถึง 3.0×10^{-3} เมตร

2.2. **ลูกกลิ้งคู่แบบทวิน (Twin drum)** ลูกกลิ้งทั้งสองลูกจุ่มอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารเหลว และหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อลูกกลิ้งหมุนผลิตภัณฑ์อาหารเหลวจะเกาะติดผิวของลูกกลิ้ง ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งไม่มีผลต่อความหนาของฟิล์มอาหาร (ภาพที่ 6.12 ค) ถ้าผลิตภัณฑ์อาหารเหลวมีคุณสมบัติไม่เกาะติดผิวลูกกลิ้ง ควรใช้ลูกกลิ้งคู่แบบดับเบิลดรัม

อัตราการอบแห้งด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอก ขึ้นกับ ความดันไอน้ำที่เป็นตัวให้ความร้อน ความเร็วรอบในการหมุนของลูกกลิ้ง และความหนาของฟิล์มอาหาร สำหรับความหนา

ของฟิล์มอาหารนั้นจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในอาหารเหลว และแรงตึงผิวของอาหาร ถ้าอาหารมีแรงตึงผิวสูงจะได้ฟิล์มของอาหารที่หนา การอบแห้งใช้เวลานาน และความเร็วในการหมุนของลูกกลิ้งจะต้องช้าลง มิฉะนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่แห้ง การลดแรงตึงผิวจะได้ฟิล์มของอาหารเหลวที่มีความหนาลดลง ถ้าฟิล์มอาหารมีลักษณะบางและมีความหนืดต่ำ สามารถใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งโดยไม่เกิดการไหม้ อัตราการอบแห้งจะสูงมาก และประหยัดพลังงานความร้อน



ภาพที่ 6.12 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกลักษณะต่าง ๆ กัน
ที่มา : Baker (1997)

อาหารที่จะอบแห้งด้วยวิธีนี้ ต้องเป็นของเหลวหรือสารแขวนลอยที่สามารถทนอุณหภูมิค่อนข้างสูงได้เป็นระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 2 – 30 วินาที และมีปริมาณของแข็งในของเหลวไม่น้อยกว่า 20 – 22 % ทำให้การเกาะตัวบนผิวลูกกลิ้งดี มีความชื้นสุดท้ายต่ำโดยไม่เกิดการไหม้

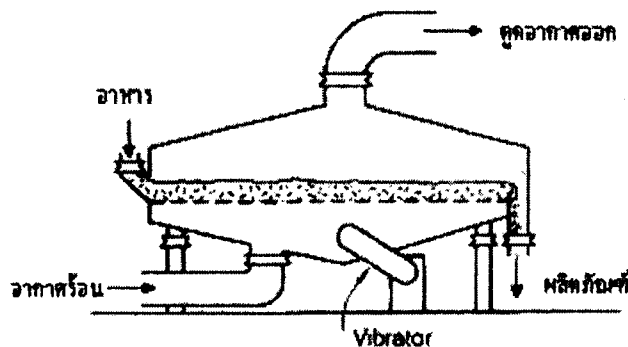
ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจะมีกลิ่นสุก (Cook flavor) และมีสีคล้ำ เนื่องจากอุณหภูมิสูง อาหารที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูงจะเกิดการเสื่อมคุณภาพ การแก้ไข โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ภายใต้อากาศที่ต่ำกว่าบรรยากาศ

อาหารที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก เช่น น้ำผลไม้ชนิดต่างๆ เมื่อได้รับความร้อน จะเกิดลักษณะเหนียวเหนอะ เยิ้ม ไม่เหมาะที่จะอบแห้งโดยวิธีนี้ เพราะจะไม่แห้งและยังไหม้ติดผิวของลูกกลิ้ง ขูดออกได้ยาก

วิธีอบแห้งแบบลูกกลิ้งร้อนนิยมใช้ในการทำแห้ง นมผง ชุปผง อาหารเด็ก มันฝรั่งบด และผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากมันฝรั่ง แต่ผลิตภัณฑ์นมผงที่ผลิตโดยวิธีนี้ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่ม เพราะได้รับความร้อนมากเกินไป ละลายน้ำได้น้อย และมีกลิ่นสุก แต่เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่ต้องอาศัยคุณสมบัติการละลายที่สูง เช่น เค้ก คุกกี้ และผลิตภัณฑ์ลูกกวาด เป็นต้น เพราะมีต้นทุนต่ำ กำลังการผลิตสูง และสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

6.5.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidize - bed dryer)

การอบแห้งด้วยวิธีนี้ ใช้ลมร้อนที่มีกำลังสูงพอที่จะพุงขึ้นอาหารให้ลอยตัวอยู่ได้ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง อาหารแต่ละชั้นจะมีการเคลื่อนที่อย่างเป็นอิสระ ทำให้มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับลมร้อนมาก การระเหยน้ำเกิดได้เร็ว ความเร็วลมร้อนต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม คือ ความเร็วของลมร้อนต้องไม่ต่ำจนไม่สามารถทำให้ชิ้นอาหารลอยตัว และต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้ชิ้นอาหารปลิวติดไปกับลมร้อน ความเร็วของลมร้อนที่ใช้อยู่ในช่วง 0.05 – 0.75 เมตรต่อวินาที ขึ้นกับ ขนาดและความหนาแน่นของชิ้นอาหาร อาหารที่จะอบแห้งถูกปล่อยเข้ามาทางด้านซ้ายของเครื่อง (ภาพที่ 6.13) แล้วค่อยๆ เคลื่อนที่ไปทางขวา และเกิดการแลกเปลี่ยนมวลและความร้อนกับลมร้อนที่เข้ามาทางด้านล่างของเครื่องซึ่งมีลักษณะเป็นตะแกรงที่เป็นรูพรุน อากาศหลังถ่ายเทความร้อนจะเคลื่อนออกทางด้านบนของเครื่อง

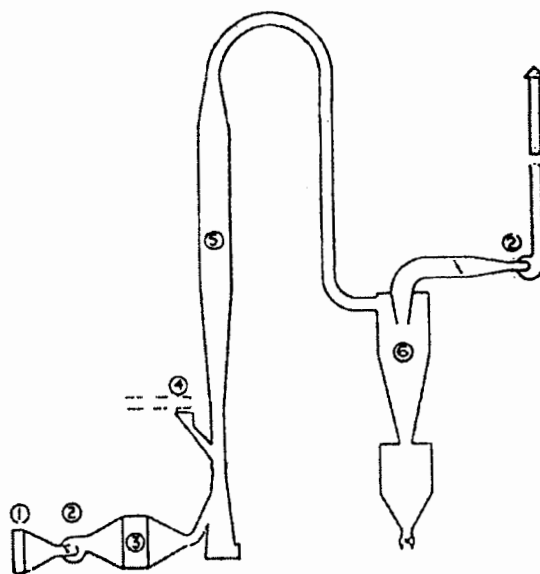


ภาพที่ 6.13 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
ที่มา : Baker (1997)

อาหารที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูงจะแห้งเร็ว ถ้าอาหารมีขนาดใหญ่จะลอยตัวได้ยาก ส่วนอาหารที่บอบบางไม่เหมาะที่จะอบแห้งด้วยวิธีนี้ เพราะอาหารจะเกิดการชน การกระทบกระแทกกันในระหว่างการอบแห้ง ทำให้เกิดการแตกหัก การอบแห้งด้วยวิธีนิยมใช้กับ เมล็ดธัญชาติ ถั่ว โกโก้ และเมล็ดกาแฟ

6.5.7 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic Dryer)

การอบแห้งวิธีนี้ผลิตภัณฑ์อาหารจะเคลื่อนที่ไปกับลมร้อน ในขณะที่เดียวกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลระหว่างอาหารกับลมร้อน เกิดการสัมผัสอย่างใกล้ชิดระหว่างอาหารกับลมร้อน เมื่อเคลื่อนที่ถึงปลายทางออก อาหารจะมีความชื้นต่ำถึงระดับที่ต้องการ (ภาพที่ 6.14) การอบแห้งวิธีนี้หลักการคล้ายกับการอบแห้งแบบพ่นฝอยและแบบฟลูอิดไดซ์เบด แต่มีข้อจำกัดเรื่องขนาดของอนุภาคอาหารซึ่งจะต้องสามารถเคลื่อนที่ไปกับลมร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหาย เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเป็นผง เมล็ดเกลือ หรือ แผ่น



ภาพที่ 6.14 เครื่องอบแห้งแบบนิวเมติก

1 = ที่กรองอากาศ 2 = พัดลม 3 = แหล่งกำเนิดความร้อน

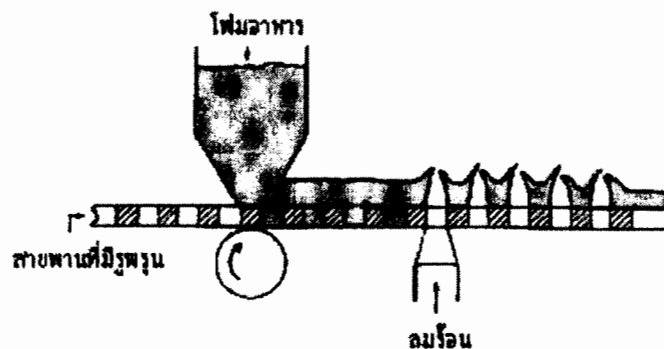
4 = ทางเข้าของอาหาร 5 = ส่วนอบแห้ง 6 = เครื่องแยก

ที่มา : Van Arsdel และคณะ (1973)

6.5.8 เครื่องอบแห้งแบบโฟมแม่ท (Foam mat dryer)

การอบแห้งวิธีนี้อาหารเหลวถูกทำให้มีลักษณะเป็นโฟมก่อน แล้วแผ่เป็นชั้นบางๆ บนสายพานที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ลมร้อนจะเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนในแนวดิ่ง ถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร ฟองอากาศที่อยู่ในอาหารจะหนีออกสู่บรรยากาศ ทำให้อาหารมีลักษณะเป็นรูพรุน เล็ก ละเอียด ช่วยให้คั้นรูปได้เร็ว (ภาพที่ 6.15)

การทำให้อาหารมีลักษณะเป็นโฟมทำได้โดยนำอาหารเหลวมาทำให้เข้มข้น โดยการระเหยน้ำ จะช่วยให้เกิดโฟมที่เหนียวและคงตัว อาหารบางชนิด เช่น ไข่ สามารถดีให้เกิดเป็นโฟมได้ แต่อาหารบางชนิดไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเป็นโฟม เช่น น้ำผลไม้ ผลไม้บด และมะเขือเทศบด ควรเติมสารช่วยการเกิดโฟม เช่น กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต โปรตีนถั่วเหลือง และไข่ขาว จะช่วยให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี (Potter & Hotchkiss, 1995) ส่วนสารที่ช่วยเพิ่มความหนืด ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส และกัมชนิดต่างๆ



ภาพที่ 6.15 เครื่องอบแห้งแบบโฟมแม่ท

ที่มา : Potter & Hotchkiss (1995)

ความหนาแน่นของโฟมควรอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6 กรัมต่อมิลลิลิตร จะให้ฟองรูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร กระจายอยู่ในส่วนของเหลว แผ่อาหารเป็นชั้นบางๆ หนาประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร อัตราการอบแห้งจะสูง ถ้าอาหารมีลักษณะเป็นชั้นบางๆ และมีเนื้ออาหารน้อย ถ้าใช้อุณหภูมิในการอบแห้งประมาณ 80 องศาเซลเซียส อาหารจะมีความชื้นลดลงเหลือ 2 – 3 % ภายในเวลา 12 นาที (Potter & Hotchkiss, 1995)

การทำแห้งในลักษณะที่คล้ายคลึงกันนี้ อาจใช้สายพานที่ไม่เป็นรูพรุนก็ได้ สายพานจะถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยไอน้ำที่กลั่นตัว และจากอากาศร้อนที่มีความเร็วสูงด้านบนของสายพาน แผ่โฟมอาหารให้เป็นชั้นบางๆ หนาประมาณ 0.4 มิลลิเมตร อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่า

80 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 1 นาที หรือน้อยกว่า อัตราการทำแห้งที่เร็วกว่านี้เกิดจากชั้นอาหารที่บางและวิธีการให้ความร้อนโดยไอน้ำกลั่นตัว เมื่อไอน้ำกลั่นตัวด้านล่างสายพานก็จะให้ทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงในการควบแน่น

การอบแห้งโดยวิธีนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ใกล้เคียงกับการทำแห้งภายใต้สุญญากาศ และแบบการอบแห้งภายใต้สภาวะเยือกแข็ง แต่ใช้เวลาสั้นๆ และเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ปริมาตรมาก ทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการบรรจุและการขนส่ง

6.5.9 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเครื่องอบแห้งที่มีความสำคัญ ปัจจุบันมีอาหารแห้งมากมายหลากหลายชนิดผลิตจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่มีข้อจำกัดคือเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยใช้ได้กับอาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำ และสามารถทำให้แตกออกเป็นละอองเล็กๆ โดยการฉีดพ่น ได้แก่ นำนม ซา กาแฟ ไข่ และโปรตีนสกัดจากพืช

หลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ บี้มอาหารเหลวเข้าสู่ห้องอบผ่านหัวฉีดทำให้เป็นละอองฝอย สัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูง เกิดการระเหยน้ำ ความชื้นถูกดึงออกอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้นๆ 1- 10 วินาที ได้เป็นอนุภาคเล็กๆ ตกกลงสู่ด้านล่างของห้องอบ และถูกแยกออกจากกระแสลมร้อนและบริเวณที่ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารผงไม่ได้รับความเสียหายจากความร้อน หลังการคืนรูปจะมีลักษณะและคุณภาพใกล้เคียงอาหารสด ส่วนอากาศร้อนจะเปลี่ยนเป็นอากาศชื้นและถูกดึงออกจากห้องอบ

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีความแตกต่างกันบ้างในด้านโครงสร้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต เช่น ในกรณีของนํานมจะประกอบด้วย ถังบรรจุ นํานม บีมแรงดันสูง สำหรับบีมนํานมเข้าสู่ห้องอบ หัวฉีดพ่นของเหลวให้เป็นละอองฝอย แหล่งกำเนิดลมร้อนพร้อมเครื่องเป่าลมร้อน ภาชนะรองรับผลิตภัณฑ์ และเครื่องดูดอากาศร้อนที่ชื้น แต่อย่างไรก็ตามส่วนประกอบหลักๆ ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะต้องประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญๆ 4 ส่วน คือ

1. ลมร้อนและระบบการหมุนเวียน

แหล่งกำเนิดลมร้อน อาจเป็นไอน้ำ ก๊าซ หรือ ไฟฟ้า อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้มีผลต่อคุณภาพและความชื้นของอาหารผง ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารผงแต่ละชนิด อุณหภูมิของลมร้อนจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการทนความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทนความร้อน เช่น นํานมและ

ไซ ใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150 – 200 องศาเซลเซียส ในขณะที่ซาและกาแพนความร้อนสูง สามารถใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงถึง 200 – 250 องศาเซลเซียส

การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน มีความสำคัญต่อการถ่ายเทความร้อน คุณภาพ และปริมาณผลผลิต ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนภายในห้องอบมี 3 ลักษณะ ดังนี้

1.1. การเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับหยดของอาหารเหลว

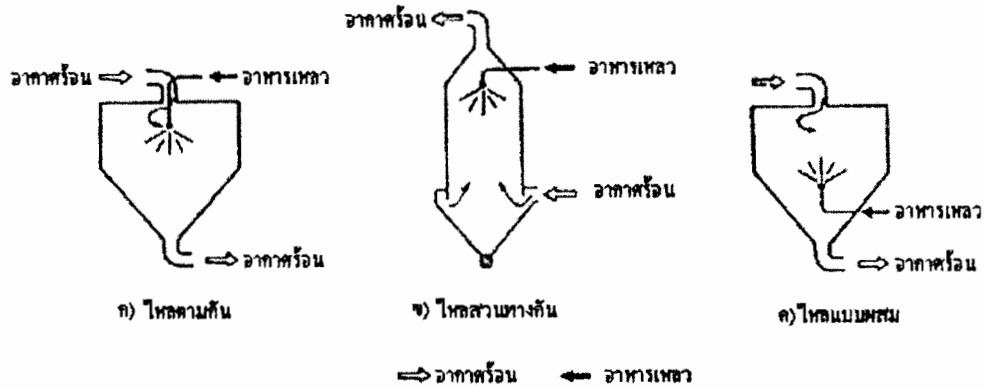
ลมร้อนเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับหยดอาหารเหลว หลังการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมร้อนกับหยดอาหารเหลว ผลิตภัณฑ์อาหารผึ่งจะออกจากห้องอบทางด้านล่าง ส่วนลมร้อนจะเคลื่อนที่ไปยังระบบแยก (ภาพที่ 6.16 ก) การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนในลักษณะนี้ เหมาะกับอาหารที่ไวต่อความร้อน เพราะอาหารเหลวที่มีความชื้นสูงสัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูง น้ำที่ระเหยจากหยดอาหารทำให้เย็นลงจากการระเหย หยดอาหารไม่ได้รับความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิกะเปาะเปียกของลมร้อน โดยทั่วไปจะประมาณ 50 องศาเซลเซียส และผลิตภัณฑ์อาหารที่แห้งจะสัมผัสกับลมร้อนหลังอุณหภูมิลดลงอย่างมาก (Heldman & Hartel,1997)

1.2. การเคลื่อนที่สวนทางกับหยดของอาหารเหลว

ลมร้อนเข้าทางด้านล่างของห้องอบแห้งเคลื่อนที่สู่ด้านบน สวนทางกับหยดอาหารเหลว หลังการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมร้อนกับหยดอาหารเหลว ผลิตภัณฑ์อาหารที่แห้งจะออกทางด้านล่างของห้องอบ ลมร้อนจะออกทางด้านบน (ภาพที่ 6.16 ข) วิธีนี้ลมร้อนเข้ามีอุณหภูมิก่อนข้างสูงจะสัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ที่แห้งหรือเกือบแห้ง ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่ำลง นอกจากนี้ถ้าใช้ความเร็วลมร้อนสูง ผลิตภัณฑ์อาหารผึ่งอาจจะติดไปกับลมร้อนทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำ การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนในลักษณะนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นสูง

1.3. การเคลื่อนที่แบบผสม

ลมร้อนเข้าทางด้านบนของห้องอบ หลังการแลกเปลี่ยนความร้อนกับหยดอาหารเหลว แล้ว จะเปลี่ยนทิศทางโดยหมุนวนและเคลื่อนที่ออกทางด้านบน ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจะออกทางด้านล่างของห้องอบ (ภาพที่ 6.16 ค) วิธีนี้อุณหภูมิลมร้อนเข้าสูง ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่มีอัตราการระเหยต่อหน่วยปริมาตรสูง



ภาพที่ 6.16 การเคลื่อนที่ของอากาศร้อนและอาหารเหลว

ที่มา : Barbosa-Canovas & Vega-Mercado (1996)

2. หัวฉีด

หัวฉีดทำหน้าที่ฉีดพ่นอาหารเหลวให้เป็นละอองฝอย มีขนาดเล็กตั้งแต่ 10 - 200 ไมโครเมตร จัดเป็นส่วนสำคัญที่สุดของเครื่องมือ และเป็นส่วนกำหนดขนาดของอนุภาค การทำงานของหัวฉีดมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารผงและประสิทธิภาพในการอบแห้ง ถ้าหัวฉีดสามารถทำให้อาหารเหลวแตกเป็นละอองฝอยที่มีขนาดอนุภาคยิ่งเล็กยิ่งดี ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับลมร้อน อัตราการอบแห้งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การทำงานของหัวฉีดยังมีผลต่อความสม่ำเสมอและขนาดของอนุภาค ถ้าขนาดของอนุภาคไม่สม่ำเสมอ อนุภาคขนาดเล็กจะแห้งก่อน และได้รับความร้อนมากเกินไปก่อนที่อนุภาคขนาดใหญ่จะแห้ง ขนาดของอนุภาคมีผลต่ออัตราการละลาย อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะจมในน้ำ ขณะที่อนุภาคขนาดเล็กจะลอย ทำให้การเปียกและการคืนรูปไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะสูญเสียไปโดยติดไปกับลมร้อน การแยกตัวอาศัยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง

หัวฉีดที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมี 3 ชนิดคือ

2.1. หัวฉีดอัดความดันแบบหัวเดียว (Single fluid Pressure Nozzle)

อาหารเหลวถูกอัดให้เคลื่อนผ่านรูหัวฉีดด้วยความดันสูง อาหารเหลวจะแตกเป็นละอองฝอย ขนาดของอนุภาคขึ้นกับระดับความดันที่ใช้ (ภาพที่ 6.17ก) ถ้าควบคุมความดันให้สม่ำเสมอจะได้อนุภาคที่มีขนาดสม่ำเสมอ แต่การใช้หัวฉีดชนิดนี้จะมีปัญหาการอุดตันของรูหัวฉีด ถ้ามีชิ้นส่วนของแข็งในอาหารเหลวหรืออาหารเหลวเกิดการตกตะกอนหรือเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน

2.2. หัวฉีดอัดความดันแบบสองหัว (Two fluid Pressure Nozzle)

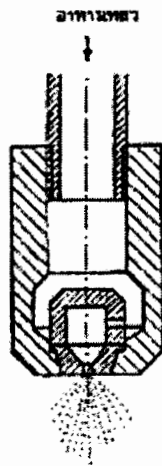
ประกอบด้วย หัวฉีดอากาศหรือไอน้ำและหัวฉีดอาหารเหลว อากาศหรือไอน้ำเป็นตัวทำให้อาหารเหลวที่ถูกอัดผ่านรูหัวฉีดขาดเป็นหยดเล็กๆ (ภาพที่ 6.17 ข) หัวฉีดแบบนี้ใช้ความดันต่ำกว่าหัวฉีดแบบที่หนึ่ง หยดของเหลวมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ไม่นิยมใช้กับอาหาร แต่ก็มีการใช้บ้างในอาหารที่มีความหนืดสูง (Baker, 1997) นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ยาและเซรามิก

2.3. หัวฉีดแบบจานหมุน (Centrifugal atomizer)

หัวฉีดมีลักษณะคล้ายจานหมุนและมีช่องเปิดเล็กๆ โดยรอบ (ภาพที่ 6.17 ค) หมุนด้วยความเร็ว 2,000 – 20,000 รอบ/นาที ทำให้อาหารเหลวแตกเป็นละอองฝอย อนุภาคมีลักษณะทรงกลม สม่ำเสมอ ไม่ต้องอาศัยความดันเหมือนหัวฉีดแบบที่ 1 และ 2 ขนาดของอนุภาคขึ้นกับความเร็วของจานหมุน ความหนืด และแรงตึงผิวของอาหารเหลว ใช้ได้ดีกับอาหารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

เมื่อหยดอาหารออกมาจากหัวฉีดจะเปลี่ยนจากของเหลวไปอยู่ในสถานะที่เหนียวหนืดแล้วจึงจะเปลี่ยนไปเป็นอนุภาคที่แห้ง ถ้าไปปะทะกับผนังของห้องอบก่อนที่จะแห้ง ก็จะทำให้เกาะติดกันเป็นก้อน ได้รับความเสียหายจากความร้อนและยากที่จะเอาออก ดังนั้นมุมที่เบี่ยงเบนจากหัวฉีดหรือวิถีของจานหมุนต้องออกแบบให้เหมาะสมไม่ให้ปะทะกับผนังของห้องอบในระยะแรกๆ ของการอบแห้ง

ลักษณะปรากฏ ขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น และการละลายของอนุภาคผง มีผลมาจากความดันของหัวฉีด แรงเฉือน ความหนืดของของเหลว แรงตึงผิว และธรรมชาติของของแข็ง โดยทั่วไปแล้วอนุภาคผงจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม เกิดจากเนื้ออาหารเหลวที่มีการลอยตัวอย่างอิสระ แต่ในบางครั้งถ้าการทำแห้งเร็วเกินไป หยดอาหารเหลวจะแห้งทันทีที่ไหลผ่านหัวฉีด ไม่มีเวลาที่จะสร้างรูปร่างที่เป็นทรงกลม ดังนั้นอนุภาคผงก็จะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอหรือมีรูปร่างแบบดัมเบลล์ แต่ถ้าการทำแห้งมีการควบคุมอย่างเหมาะสม ไอน้ำหนีออกจากหยดอาหารเหลว ทำให้เกิดช่องหรือโพรงอากาศ ทำให้มีความหนาแน่นต่ำ มีพื้นที่ผิวมากในการเกิดออกซิเดชัน



(ก)



(ข)

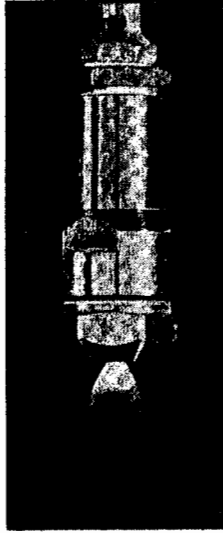


(ค)

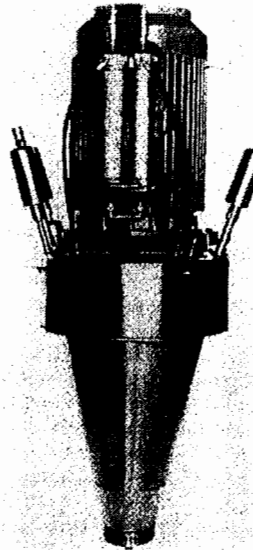
ภาพที่ 6.17 ภาพตัดขวางหัวฉีดแบบต่างๆ (ก) หัวฉีดอัดความดันแบบหัวเดียว

(ข) หัวฉีดอัดความดันแบบสองหัว (ค) หัวฉีดแบบจานหมุน

ที่มา: Brennan,et.al.(1981)



(ก) หัวฉีดอัดความดันแบบหัวเดียว



(ข) หัวฉีดแบบจานหมุน

ภาพที่ 6.18 หัวฉีด ขณะทำงาน: (ก) หัวฉีดอัดความดันแบบหัวเดียว
(ข) หัวฉีดแบบจานหมุน
ที่มา : Fellow (1990)

3. ห้องอบแห้ง

เป็นส่วนที่ลมร้อนสัมผัสกับหยดอาหารเหลว เกิดการระเหยน้ำที่ส่วนนี้ ขนาดและรูปร่างของห้องอบแห้งต้องออกแบบให้เหมาะสม มีระยะทางเพียงพอให้ลมร้อนสัมผัสกับหยดอาหารเหลว เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและการระเหยน้ำ จนได้ผลิตภัณฑ์อาหารผงที่แห้งพอดี โดยทั่วไปแล้วห้องอบจะมีความสูงตั้งแต่ 1– 30 เมตร อาหารเหลวจะอยู่ในห้องอบ 5 – 100 วินาที และมีความชื้นลดลงจาก 60 % เหลือประมาณ 5 – 10 % (Heldman & Hartel, 1997)

นอกจากนี้ทางออกของอาหารผงในห้องอบแห้งต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่แห้งแล้วสามารถเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้งได้สะดวกรวดเร็ว ไม่ติดอยู่ภายในห้องอบแห้งเป็นเวลานาน มิฉะนั้นผลิตภัณฑ์อาหารผงจะมีคุณภาพต่ำเนื่องจากได้รับความร้อนมากเกินไป

แต่อย่างไรก็ตามจะมีการออกแบบให้อนุภาคอยู่ในห้องอบเป็นเวลานาน เพื่อให้ทำให้อนุภาคมีความชื้นอยู่ในระดับต่ำ หรืออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยอนุภาคที่แห้งชงกับอนุภาคที่แห้งน้อยกว่าและจับกันเป็นก้อน เป็นวิธีหนึ่งในกระบวนการแยกโคมอเรตที่รู้จักกันดี ทำให้เกิดช่องอากาศภายในอนุภาค ละลายน้ำได้ดีกว่าอนุภาคผงที่ได้จากการพ่นฝอยทั่ว ๆ ไปที่มีขนาดเล็ก ลอยอยู่ที่ผิวหน้าและทำให้เปียกยาก

4. ส่วนแยกอนุภาคผงออกจากลมร้อน

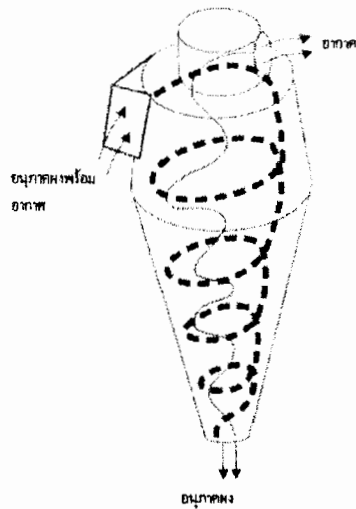
อนุภาคผงที่มีขนาดใหญ่จะถูกแยกออกจากกระแสลมร้อน โดยจะตกลงสู่ภาชนะรองรับที่อยู่ด้านล่างของห้องอบ ส่วนอนุภาคขนาดเล็กจะติดไปกับลมร้อน และถูกแยกออกโดยใช้ไซโคลน เครื่องกรอง และเครื่องจับอนุภาคผงโดยใช้ของเหลว

การทำงานของไซโคลนเพื่อแยกอนุภาคผงออกจากกระแสลมร้อน เมื่อลมร้อนที่มีอนุภาคผงเคลื่อนเข้าสู่ไซโคลนด้วยความเร็วสูง เกิดแรงเหวี่ยง ทำให้ลมร้อนและอนุภาคผงเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบแกนกลางของไซโคลนที่มีลักษณะเป็นกรวย อนุภาคผงจะกระแทกกับผนังของไซโคลน ทำให้มีความเร็วลดลง และตกลงสู่ด้านล่าง โดยแรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักของอนุภาคผงเอง และถูกเก็บรวบรวมไว้ในภาชนะรองรับที่อยู่ด้านล่างของไซโคลน ส่วนกระแสลมร้อนหลังแยกอนุภาคผงออกแล้ว จะหมุนวนและเคลื่อนที่ออกทางด้านบน (ภาพที่ 6.19 ก)

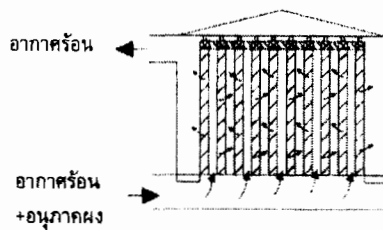
ประสิทธิภาพในการแยกของไซโคลนขึ้นกับขนาดของอนุภาคผง ถ้าอนุภาคผงมีขนาดใหญ่กว่า 30 ไมโครเมตร จะแยกออกได้ถึง 99 % แต่ถ้าอนุภาคผงมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร ไซโคลนจะสามารถแยกได้เพียง 50 % (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

การใช้ไซโคลนเพื่อแยกอนุภาคผงออกจากกระแสลมร้อนได้รับความนิยม ไซโคลนสามารถแยกอนุภาคผงออกได้ถึง 95 – 98 % ของของแข็ง ถ้าต้องการทำให้ได้ถึง 100 % จะเสียค่าใช้จ่ายสูง

อย่างไรก็ตามอากาศที่ออกจากไซโคลนนั้น ยังคงมีอนุภาคที่ละเอียดมากๆ ปนไปด้วย จำเป็นต้องใช้ตัวดักจับชนิดอื่นติดไว้เหนือไซโคลน เช่น ถังดักจับหรือแผ่นกรอง(ภาพที่ 6.19ข) ก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ อนุภาคที่ละเอียดนี้จะยังคงอยู่ภายในถุงเป็นเวลานาน และสัมผัสกับอากาศร้อนที่ปล่อยออกมาตลอดเวลา ทำให้ได้รับความเสียหายจากความร้อน และมีคุณภาพต่ำ



ก) ไซโคลน



ข) แผ่นกรอง

ภาพที่ 6.19 อุปกรณ์แยกอนุภาคผงละเอียดออกจากอากาศร้อน
ก) ไซโคลน ข) แผ่นกรอง

ที่มา : Heldman & Hartel (1997)

คุณสมบัติของอาหาร

อาหารที่จะทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ต้องเป็นของเหลวที่มีของแข็งที่ละลายได้อย่างน้อย 40 – 60 % (Heldman & Hartel, 1997) มีความหนืดต่ำ ถ้าอาหารมีความเข้มข้นต่ำ ต้องระเหยน้ำออกก่อน โดยอาจจะเหวี่ยงภายใต้สุญญากาศ เพื่อรักษากลิ่นรสของอาหาร อาหารที่มีกากต้องกรองเอากากออก เพื่อป้องกันการอุดตันของรูหัวฉีด

การอบแห้งวิธีนี้ไม่เหมาะกับอาหารที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง เพราะอาหารผงจะไม่แห้งสนิท และไม่เหมาะสำหรับผลไม้และผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ เพราะมีน้ำตาล กรด และของแข็งที่ละลายได้สูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก จับติดกับผนังห้องอบ แต่ก็สามารถแก้ไขได้หลายวิธีดังนี้

1) ออกแบบห้องอบให้มีความยาวมากขึ้น เพื่อให้อาหารอยู่ในห้องอบเป็นเวลานาน โดยใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เครื่องอบแห้งชนิดนี้รู้จักกันในชื่อ BIRS spray dryer ทำแห้งโดยใช้อากาศที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 3 % หยดอนุภาคเหลวมีเวลาอยู่ในห้องอบนานเพียงพอจนแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ห้องอบมีความสูงถึง 67 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เมตร เมื่อหยดของเหลวตกลงมาจะใช้เวลานานถึง 90 วินาที จึงจะแห้ง ดังนั้นจึงสามารถใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกและอาหารที่ไวต่อความร้อน เช่น น้ำส้ม น้ำมะนาว และน้ำมะเขือเทศ แต่กระบวนการนี้ไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของอนุภาคอย่างรวดเร็ว ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีการพองตัวน้อยและมีความหนาแน่นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แต่การใช้อุณหภูมิต่ำก็จะช่วยรักษากลิ่นรสไว้ได้ดีกว่า

2) ใช้ห้องอบที่มีผนังสองชั้น และมีการหมุนเวียนของน้ำเย็นหรืออากาศเย็นที่ผนังด้านล่างของห้องอบ เพื่อให้ผนังบริเวณที่อนุภาคผงเกาะติดหรือสะสมอยู่เย็น ป้องกันการหลอมเหลวหรือรวมตัวกัน

3) เติมน้ำป้องกันการจับตัว เช่น กลูโคสเหลว โปรตีน และพอลิเมอร์

ผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ นมและผลิตภัณฑ์นม ช็อคโกแลต คุกกี้ ไข่ผง เอนไซม์ และเชื้อจุลินทรีย์ผง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นต่ำไม่เกิน 5 % อนุภาคมีลักษณะเป็นรูพรุน การเสื่อมเสียจากอากาศร้อนน้อย แต่ผลิตภัณฑ์อาหารผงมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก ทำให้การกระจายตัวไม่ดี ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นแบบสองหรือสามชั้นตอน โดยเชื่อมต่อกับเครื่องทำให้อนุภาคผงรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น (Agglomerate) เช่น เครื่องฟลูอิดไดซ์เบด

6.5.10 เครื่องอบแห้งอาหารในสภาวะเยือกแข็ง (Freeze dryer)

การอบแห้งวิธีนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการสูญเสียสารประกอบที่ให้กลิ่นรสในอาหาร ที่มักสูญเสียไปในระหว่างการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งลมร้อน การอบแห้งวิธีนี้แตกต่างจากการอบแห้งวิธีอื่น ๆ คือ การลดความชื้นเกิดจากการทำให้้ำที่อยู่ในสถานะเป็นน้ำแข็งเกิดการระเหิดกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันที่อุณหภูมิต่ำ (ภาพที่ 6.20) อาหารไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูง การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และกลิ่นรสของอาหารเกิดขึ้นน้อยมาก ผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำแห้งด้วยวิธีนี้มีคุณภาพที่ดีกว่าการทำแห้งด้วยวิธีการอื่น ๆ แต่มีต้นทุนการผลิตสูง สูงกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอยถึง 5 เท่า เมื่อเทียบกับคุณภาพแล้ว ผู้บริโภคให้การยอมรับแม้ว่าราคาจะสูงกว่าก็ตาม

การอบแห้งวิธีนี้ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน คือ

1. การแช่เยือกแข็ง

ผลิตภัณฑ์อาหารที่จะทำแห้งด้วยวิธีนี้ ต้องผ่านการแช่เยือกแข็งมาก่อน วิธีการและอัตราการแช่เยือกแข็งที่เลือกใช้ มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ดังนี้

ถ้าใช้อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูง จะได้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ หลังการทำแห้งจะเกิดเป็นช่องว่างขนาดเล็กภายในชิ้นอาหาร ช่องว่างเล็กๆ เหล่านี้จะช่วยเก็บกักกลิ่นรสของอาหารไม่ให้ระเหยไปในระหว่างการทำแห้ง ช่วยรักษาโครงสร้าง และเนื้อสัมผัส หลังการคืนรูปให้มีลักษณะใกล้เคียงของเดิม แต่ใช้เวลานานในการอบแห้งและการคืนรูปเนื่องจากช่องว่างที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งที่ใช้อัตราการแช่เยือกแข็งที่สูงมากจนทำให้เกิดการปริแตกเกิดโพรงหรือช่องว่างขึ้น ก็จะทำให้ผลในทางตรงกันข้าม การระเหิดจะเกิดได้เร็วแต่จะมีผลเสียต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้ง

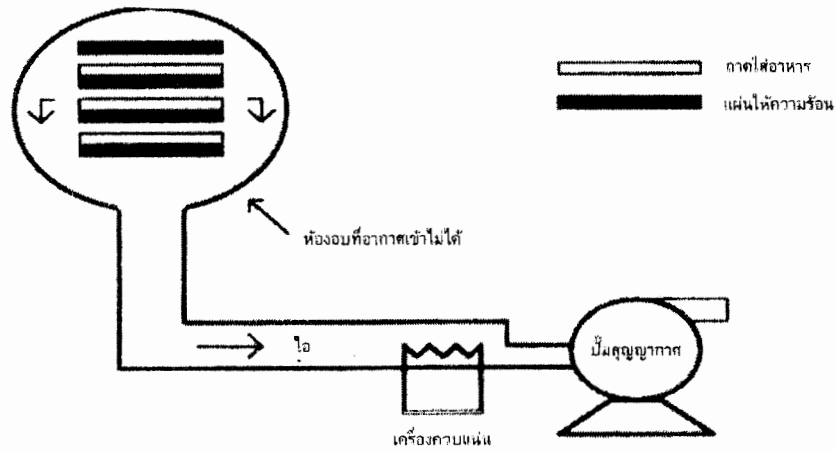
ถ้าใช้อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งต่ำจะได้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายนอกเซลล์ เบียดและทำลายเซลล์ ช่องว่างหลังการระเหิดมีขนาดใหญ่ ถ่ายเทมวลสารสะดวก เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและการคืนรูปลดลง เก็บรักษากลิ่นรสได้ไม่ดี

ดังนั้นควรเลือกอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลึกขนาดพอเหมาะ ไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป

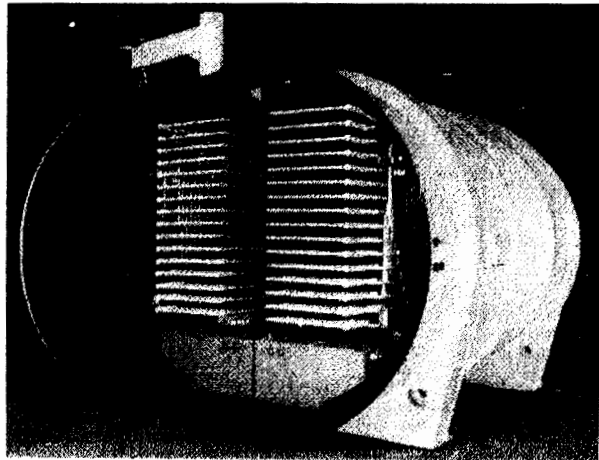
นอกจากเลือกวิธีการแช่เยือกแข็งให้เหมาะสมแล้ว อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งจะต้องลดให้ต่ำถึงจุดยูเทคติกหรือไครโอไฮดริก ที่จุดนี้ น้ำทั้งหมดจะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง เพื่อให้้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอโดยการระเหิดเท่านั้น ในการทำแห้งด้วยวิธีนี้ถ้า้ำแข็งเกิดการหลอมเหลวหรือการแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีลักษณะคล้ายยางที่เหนียวหนืด

2. การลดความดัน

เพื่อให้น้ำแข็งสามารถระเหิดกลายเป็นไอ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันที่จะทำให้ น้ำแข็งเกิดการระเหิด อธิบายได้โดยเฟสไดอะแกรม ความดันจะต้องมีค่าต่ำกว่าความดันที่จุดทริปเปิล ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 4.58 มิลลิเมตรปรอท



ก) ระบบการทำงาน



ข) เครื่องอบแห้งอาหารที่อยู่ในสภาวะแช่เยือกแข็ง

ภาพที่ 6.20 ระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งอาหารที่อยู่ในสภาวะแช่เยือกแข็ง

ที่มา : Barbosa-Canovas & Vega-Mercado (1996)

3. การให้ความร้อน

เพื่อให้เกิดการระเหิดของน้ำในอาหารที่อยู่ในสถานะน้ำแข็ง หลังการลดความดันลงถึงระดับที่เหมาะสมแล้ว ต้องให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการระเหิด การให้ความร้อนทำได้ทั้งการนำหรือการแผ่รังสี แต่จะต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิของอาหารส่วนที่เป็นน้ำแข็งสูงจนเกิดการละลาย ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของอาหารเสียไป สำหรับอาหารทั่วไป อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวประมาณ 37 – 82 องศาเซลเซียส ความดัน 0.1 – 2.0 ทอร์ ส่วนจุลินทรีย์และวัคซีนใช้อุณหภูมิประมาณ 21 – 32 องศาเซลเซียส ความดัน 0.1 ทอร์

4. การทำลายระบบสุญญากาศ

เมื่ออาหารมีความชื้นลดลงถึงระดับที่ต้องการ ก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกปล่อยเข้าไปเพื่อทำลายระบบสุญญากาศ ก๊าซเฉื่อยที่ปล่อยเข้าไปนั้น มีผลดีต่อคุณภาพการเก็บรักษาของอาหารหลังการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะอาหารอบแห้งด้วยวิธีนี้จะมีโครงสร้างโปร่ง มีรูพรุน ก๊าซเฉื่อยจะเข้าไปแทรกตามรูพรุนเหล่านี้ ช่วยป้องกันอาหารแห้งจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

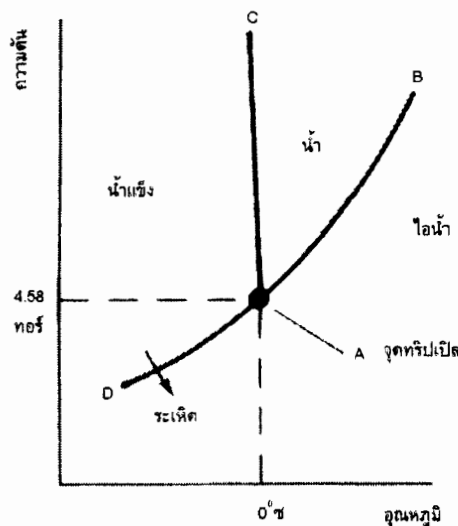
การทำแห้งวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานาน เหมาะสำหรับอาหารที่มีราคาแพง กลิ่นรสและสีไวต่อความร้อน ต้องการรักษากลิ่นรส สี เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของอาหารให้ใกล้เคียงอาหารสด วิธีการทำแห้งแบบปกติทุกอย่างไม่สามารถทำได้ เช่น สตรอเบอร์รี่เนื้อนุ่มบอบบาง และมีน้ำเป็นส่วนประกอบมาก ถ้าใช้วิธีการทำแห้งทั่วๆ ไป จะได้สตรอเบอร์รี่ที่มีลักษณะเหี่ยว บิดเบี้ยว และสูญเสียเนื้อสัมผัส เมื่อนำไปคั้นรูปสตรอเบอร์รี่จะมีสี กลิ่นรส และความเต่ง ไม่เหมือนของสด แต่จะคล้ายกับสตรอเบอร์รี่ที่เก็บรักษาหรือที่อยู่ในแยม ส่วนอาหารที่เป็นของเหลว เช่น กาแฟ น้ำผลไม้ก็สามารถทำแห้งด้วยวิธีนี้ แต่ควรลดปริมาณน้ำลงก่อน โดยเลือกวิธีที่เหมาะสม เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทำแห้ง

การทำแห้งวิธีนี้ใช้อุณหภูมิต่ำ ไม่ทำให้วิตามินและคุณค่าทางอาหารสูญเสียไป ไม่เกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ การสูญเสียสารระเหยที่ให้กลิ่นรสในอาหารเกิดน้อยมาก ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งไม่เกิด Case hardening เนื่องจากการเคลื่อนที่ของของแข็งที่ละลายได้เกิดขึ้นน้อย ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสามารถคั้นรูปได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ หลังคั้นรูปจะมีลักษณะโครงสร้างและเนื้อสัมผัสใกล้เคียงอาหารสด

แผนภาพวัฏภาคของน้ำบริสุทธิ์ (Phase diagram)

คือ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของสสารหรือวัตถุที่มีสถานะแตกต่างกันได้ถึง 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ทั้งนี้ ขึ้นกับ อุณหภูมิและความดัน

ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะของน้ำที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เกี่ยวข้องกับ กระบวนการแปรรูปอาหารหลายชนิด เช่น การที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอในการทำให้เข้มข้นและการอบแห้ง การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นน้ำแข็งในการแช่เยือกแข็ง การเปลี่ยนสถานะจากน้ำแข็งกลายเป็นไอโดยการระเหิดใน Freeze dry ความสัมพันธ์นี้สามารถอธิบายได้โดยแผนภาพวัฏภาคของน้ำบริสุทธิ์ (ภาพที่ 6.21) ซึ่งแสดงความดันและอุณหภูมิของวัฏภาคของน้ำ เส้นแต่ละเส้นจะแสดงถึงความดันและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดสถานะสมดุล ดังนี้



ภาพที่ 6.21 Phase diagram ของน้ำ

ที่มา : Barbosa-Canovas & Vega-Mercado (1996)

เส้น AB เป็นเส้นสมดุลระหว่างสถานะของน้ำที่เป็นของเหลวและไอ โดยน้ำที่อยู่ตามแนวเส้นนี้จะเป็นได้ทั้งสองสถานะ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือความดันลดลง น้ำจะมีสถานะเพียงสถานะเดียว คือ สถานะไอ เรียกเส้น AB นี้ว่า เส้นจุดเดือด (Boiling point curve) หรือเส้นความดันไอ (Vapour pressure curve) บริเวณที่เลยจากจุด B ไม่สามารถจะบอกสถานะของน้ำได้ จุด B นี้เรียกว่า จุดวิกฤตของน้ำ มีค่าเท่ากับ 374 องศาเซลเซียส

เส้น AC เป็นเส้นสมดุระหว่างสถานะของน้ำที่เป็นของเหลวและของแข็ง โดยน้ำที่อยู่ตามแนวเส้นนี้ จะเป็นได้ทั้งสองสถานะ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น น้ำจะมีสถานะเพียงสถานะเดียวคือ ของเหลว เรียกเส้น AC นี้ว่า เส้นจุดหลอมเหลว (Melting point curve) จากภาพจะเห็นว่าเส้น AC จะเบี่ยงเบนจากแนวตั้งฉากไปเล็กน้อย แสดงว่าถ้ามีการเพิ่มความดัน จะทำให้จุดหลอมเหลวลดต่ำลง

เส้น AD เป็นเส้นสมดุระหว่างสถานะของน้ำที่เป็นของแข็งและไอ โดยน้ำที่อยู่ตามแนวเส้นนี้ จะเป็นได้ทั้งสองสถานะ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น หรือความดันลดลง น้ำแข็งจะเกิดการระเหิดกลายเป็นไอ เรียกเส้น AD นี้ว่า เส้นจุดระเหิด (Sublimation curve)

เส้นทุกเส้นมาตัดกันที่จุด A คือ จุดที่มีอุณหภูมิและความดัน เท่ากับ 0.0099 องศาเซลเซียส และ 4.579 มิลลิเมตรของปรอท เรียกจุดนี้ว่า จุดทริปเปิล (Triple point) ที่จุดนี้ น้ำจะเป็นได้ทั้ง 3 สถานะ

6.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งโดยทั่วๆ ไปจะหมายถึงอัตราการระเหยของน้ำหรือปริมาณน้ำในอาหารที่ลดลงต่อหน่วยเวลา (โดยน้ำหนัก) ในการอบแห้งอาหารทั่วๆ ไป อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้าหรือเร็ว ขึ้นกับ ประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำในอาหาร และความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำมาสู่ที่ผิวหน้าของอาหารและระเหยออกสู่บรรยากาศ โดยมีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนี้

6.6.1 ธรรมชาติของอาหาร

อาหารแต่ละชนิดนอกจากจะมีส่วนประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางกายภาพที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีความซับซ้อนและอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้ง มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ดังนี้

อาหารที่มีรูพรุน มีลักษณะโปร่ง หรือเป็นเยื่อใย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในสู่ผิวหน้าของอาหารเป็นแบบ Capillary flow ซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าแบบ Diffusion flow ในอาหารที่มีเนื้อแน่น

อาหารมีองค์ประกอบที่ไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด เช่น เนื้อสัตว์จะประกอบด้วยชั้นของไขมันและเนื้อซึ่งมีอัตราการอบแห้งต่างกัน ส่วนที่เป็นไขมันจะมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ นอกจากนี้อาหารที่เป็นอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันจะมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าอาหารที่เป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ

อาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบสูง เมื่อได้รับความร้อนเกิดเจลเกาะกันเหนียวหนืดเป็นแผ่น ถ้าเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของอาหารก็จะอุดช่องหรือรูพรุนที่ผิวหน้า ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกได้ยาก

อาหารที่มีความชื้นสูง มีปริมาณของแข็งต่ำ มีน้ำอิสระมาก การระเหยของน้ำเกิดได้ดี

อาหารที่มีสารโมเลกุลเล็กๆ เช่น แป้ง โปรตีน กัม น้ำตาล เกลือ และแร่ธาตุอื่น ๆ ละลายอยู่สูง โมเลกุลของน้ำจะจับอยู่กับโมเลกุลของสารเหล่านี้ ยับยั้งการเคลื่อนที่ของน้ำ ดึงออกยาก และมีจุดเดือดเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งช้ากว่าอาหารที่มีสารเหล่านี้ละลายอยู่น้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหลังของการอบแห้ง สารเหล่านี้จะยังมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น เป็นเหตุให้อัตราการอบแห้งช้ามาก ปรากฏการณ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นในช่วงการอบแห้งลดลงในอาหารหลายชนิด

อาหารที่ผ่านการลวกจะแห้งเร็วกว่าอาหารที่ไม่ผ่านการลวก เพราะการลวกไปทำลายเนื้อเยื่ออาหาร และทำให้เซลล์เมมเบรนยอมให้น้ำซึมผ่านได้มากขึ้น

6.6.2 ขนาดและรูปร่างของอาหาร

อาหารที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน จะมีอัตราการอบแห้งต่างกัน ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอาหารที่มีขนาดเล็กและชั้นบาง มีพื้นที่ผิวมากกว่าอาหารที่มีขนาดใหญ่และหนา การระเหยของน้ำในอาหารที่มีขนาดเล็กและบาง จะเกิดขึ้นเร็วกว่าอาหารที่มีขนาดใหญ่และหนา เพราะมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับลมร้อนและพื้นที่ที่ความชื้นจะหนีออกจากอาหารมากกว่า ระยะทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนเข้าสู่ใจกลางอาหารลดลง และระยะทางการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในสู่ผิวหน้าของอาหารจะสั้นกว่า ดังนั้นอาหารชิ้นเล็กและบางจะแห้งเร็วกว่าอาหารชิ้นใหญ่และหนา

อาหารที่เป็นของแข็ง กอนนำมาอบแห้ง ถ้านำมาหั่นหรือฝานเป็นชิ้นบางๆ ก่อนการอบแห้ง เช่น กกล้วยตาก ถ้านำมาหั่นเป็นแว่นๆ จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับลมร้อน แห้งเร็วกว่าการอบกล้วยทั้งผล ส่วนอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ชา กาแฟ น้ำผลไม้ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย หัวฉีดจะทำให้อาหารแตกเป็นละอองฝอย ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวอาหารจะแห้งอย่างรวดเร็ว

6.6.3 ตำแหน่งของอาหารในตู้อบ

อัตราการอบแห้งภายในตู้อบเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ขึ้นกับ ชนิด ประสิทธิภาพของตู้อบ และทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน ตัวอย่างเช่น ตู้อบแบบถาด ลมร้อนที่เข้ามาในตอนแรกมีความชื้นต่ำและอุณหภูมิสูง จะรับน้ำจากอาหารที่อยู่ตอนต้นได้ดีกว่าตอนปลาย เพราะ อาหารที่อยู่ตอนปลายจะสัมผัสลมร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นสูงขึ้น ดังนั้นอาหารที่อยู่ตอนต้นๆ จะแห้งเร็วกว่า

6.6.4 ปริมาณอาหารต่อพื้นที่ (Loading)

ปริมาณอาหารในตู้อบมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับลมร้อน การอบแห้งอาหารโดยใส่อาหารเข้าไปในตู้อบครั้งละมากๆ ทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะช่วงกลางๆ อาหารจะซ้อนทับกัน น้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี ความร้อนเข้าไปไม่ถึง

นอกจากนี้การจัดเรียงอาหารเพื่อนำไปอบแห้งก็มีผลต่ออัตราการอบแห้ง การจัดเรียงอาหารให้แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่ซ้อนทับกัน อาหารจะสัมผัสกับลมร้อนได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ทำให้อัตราการอบแห้งสูง

6.6.5 ผลต่างของอุณหภูมิกะเปาะเปียก-แห้ง (Wet-bulb depression)

ถ้าอากาศมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิกะเปาะเปียกและอุณหภูมิกะเปาะแห้งสูง แสดงว่า อากาศมีไอน้ำน้อย สามารถรับไอน้ำได้มาก อัตราการอบแห้งจะเร็ว แต่ถ้าผลต่างของอุณหภูมิกะเปาะเปียก-แห้งมีค่าลดลงและเข้าใกล้ศูนย์ อัตราการอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็ว และการอบแห้งจะสิ้นสุด ไม่มีการระเหยของน้ำออกจากอาหารอีก

6.6.6 อุณหภูมิของอากาศ

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับไปเพิ่มผลต่างของอุณหภูมิกะเปาะเปียก-แห้ง หรือลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ เพิ่มแรงขับเคลื่อนน้ำหรือความชื้นออกจากผิวหน้าของอาหาร ดังนั้นถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้น ทั้งในช่วงการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่สูงจนทำให้อาหารไหม้ หรือ เกิดความเสียหายจากปฏิกิริยาทางเคมีหรือกายภาพ

การกำหนดอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนและระยะเวลาในการอบแห้ง โดยทั่วไปในการอบแห้งผักและผลไม้ อุณหภูมิที่เหมาะสม จะอยู่ในช่วง 45 – 70 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส น้ำจะระเหยเร็วเกินไป และอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงซ้อนทางเคมี -กายภาพที่ผิวหน้า ผิวหน้าเกิดเปลือกแห้งแข็ง กระด้าง น้ำซึมผ่านไม่ได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Case hardening อัตราการอบแห้งลดต่ำลง และผลิตภัณฑ์มีความชื้นอยู่ภายในสูง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้จะเกิดการเน่าเสียและเกิดสีจะคล้ำ

ส่วนพวกถั่ว (nut) ชนิดต่างๆ จะใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 232 องศาเซลเซียสในเครื่องอบแบบชั้นตอนเดียว แต่แบ่งโซนในการทำแห้งเป็นหลายๆ โซน (Barbosa-Canovas & Vega-Mercado, 1996)

6.6.7 ความเร็วลม

ในการอบแห้งลมร้อนทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารและพาความชื้นออกไป ถ้าใช้ความเร็วลมสูง ก็พาไอน้ำไปจากผิวหน้าของอาหารสู่ภายนอกได้เร็ว อาหารจะแห้งเร็วขึ้น และยังช่วยป้องกันการเกิดสภาวะอิมมัตวในบรรยากาศเหนือผิวหน้าของอาหาร ช่วยลดเวลาในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ แต่ในช่วงท้ายของการอบแห้ง หลังจากความชื้นระเหยไป 2/3 แล้ว ความเร็วลมไม่ค่อยมีผลต่ออัตราการอบแห้ง

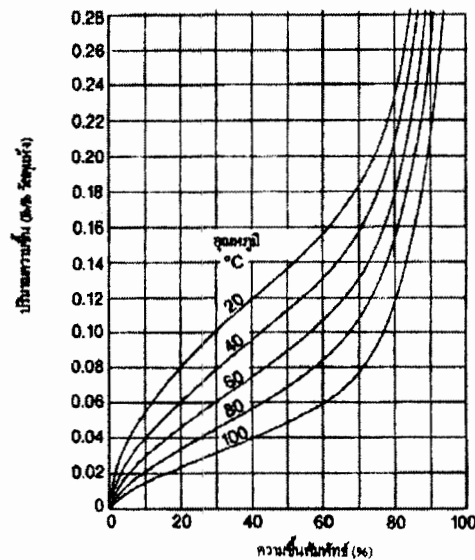
6.6.8 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนกับอาหารจะมีผลต่อแรงขับดันความชื้นออกจากอาหาร ในการอบแห้งลมร้อนยิ่งมีความชื้นต่ำ อัตราการอบแห้งยิ่งสูง แต่ถ้าลมร้อนมีความชื้นเข้าใกล้จุดอิมมัตว จะรับไอน้ำได้น้อย อัตราการอบแห้งต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม การลดความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนไม่มีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เพราะถูกจำกัดโดยการเคลื่อนที่ของน้ำภายใน

ความชื้นของอากาศจะเป็นตัวกำหนดว่าจะสามารถลดความชื้นของอาหารในกระบวนการอบแห้งให้ต่ำลงได้เท่าไร ภาพที่ 6.22 เป็นดิซอร์พชันไอโซเทอมในการอบแห้งมันฝรั่งซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 40 % สามารถลดความชื้นของมันฝรั่งลงเหลือ 4 % แต่ถ้าต้องการลดความชื้นให้เหลือ 2 % ต้องใช้อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 15 %

ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ที่อาหารและอากาศร้อนถึงจุดสมดุล การระเหยน้ำจะไม่เกิดขึ้นอีก ดังนั้นชอร์พชั้นไอโซเทอมบอกให้ทราบถึงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้ง

ชอร์พชั้นไอโซเทอมของน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดจากการผสมสารอาหารต่างๆ เช่น ชุป ผักและผลไม้ชนิดต่างๆ จำเป็นจะต้องทดลองหาชอร์พชั้นไอโซเทอมใหม่



ภาพที่ 6.22 ชอร์พชั้นไอโซเทอมของน้ำในการทำแห้งมันฝรั่ง
ที่มา : Potter & Hotchkiss (1995)

6.6.9 ความดัน

ความดันบรรยากาศปกติ (760 มิลลิเมตรปรอท) น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ถ้าความดันลดต่ำลง จุดเดือดของน้ำจะต่ำลง ที่อุณหภูมิคงที่การลดความดันจะเพิ่มอัตราการระเหย ดังนั้นการอบแห้งภายใต้ความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศ จะสามารถกระทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรือ มีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งในบรรยากาศปกติ เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อน โดยอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำลงหรือใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง

6.7. การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับอาหารอบแห้ง

6.7.1. การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะ ขนาด และรูปร่าง

ในการอบแห้งอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านโครงสร้างจะเห็นได้ในขณะที่น้ำระเหยไป ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ วิธีการอบแห้งและสภาวะในการอบแห้ง

1) การหดตัว

เซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยธรรมชาติจะมีลักษณะเต่ง ผนึ่งเซลล์มีความยืดหยุ่น และสามารถต้านทานแรงได้ระดับหนึ่ง แต่ถ้าแรงที่ได้รับมากเกินไปจนเกินกว่าที่ผนึ่งเซลล์จะรับได้ ผนึ่งเซลล์จะแตก เซลล์ผิดรูป ในการอบแห้งเมื่อน้ำระเหยไป จะเกิดช่องว่างขึ้น ทำให้เซลล์ของอาหารซึ่งเชื่อมโยงติดกัน ถูกดึงให้เข้าไปแทนที่ช่องว่างนั้น เซลล์หดตัว แต่ไม่สามารถหดตัวเข้าไปได้เท่าๆ กันทุกส่วน ส่วนที่หดตัวไม่ได้ก็จะเกิดการยืดตัวออก ทำให้เกิดแรงดึง ผนึ่งเซลล์ทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ได้ระดับหนึ่ง ถ้าแรงที่ได้รับมากเกินไปจนเกินกว่าที่ผนึ่งเซลล์จะรับได้ ทำให้เกิดการฉีกขาด ปรากฏการณ์นี้มักเกิดกับอาหารที่มีโครงสร้างแข็งแรงหรือการอบแห้งที่เร็วเกินไป

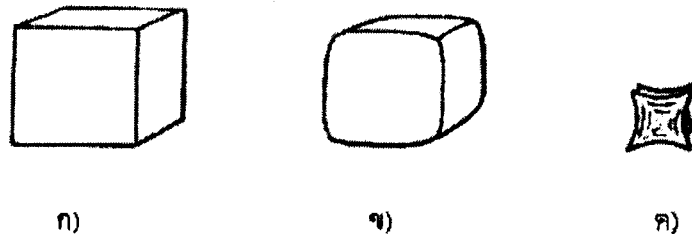
การหดตัวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรระหว่างกระบวนการทำแห้งที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นระหว่างการทำแห้ง โครงสร้างสูญเสีย น้ำ ท่อส่งน้ำและอาหารก่อนการอบแห้ง ภายในท่อจะมีของเหลวอยู่ภายในและระเหยไปในการอบแห้ง ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ เกิดการหดและทรุดตัว

การหดตัวเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง โดยลดการเปียกน้ำ เปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส และลดการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์

ตัวอย่างการอบแห้งมันฝรั่งที่หั่นเป็นรูปลูกเต๋าภาพที่ 6.23 ก เป็นรูปมันฝรั่งก่อนการอบแห้ง ภาพที่ 6.23 ข แสดงถึงการหดตัวที่ผิวหน้าขณะที่ขอบและมุมของลูกเต๋าถูกดึงที่ละน้อย ทำให้ลูกเต๋ามีลักษณะกลมมนจากการยืดตัวออก ซึ่งเกิดขึ้นในการอบแห้งช่วงต้น และเมื่อการอบแห้งดำเนินต่อไป น้ำที่อยู่ในชั้นในๆ จะถูกดึงออกเรื่อยๆ จนถึงน้ำที่อยู่ใจกลาง เป็นสาเหตุให้เกิดการหดตัวเข้าสู่ใจกลาง และมันฝรั่งจะมีลักษณะโค้งเว้าดังภาพที่ 6.23 ค

การอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิสูง ผิวหน้าจะแห้งแข็งก่อนที่อาหารส่วนที่อยู่ใจกลางจะแห้ง ดังนั้นเมื่อบริเวณใจกลางแห้งและหดตัว ดึงส่วนที่ผิวหน้าทำให้เกิดการปริแตกภายใน เกิดช่องว่าง และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายรังผึ้ง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแข็ง มีผิวหน้าที่โค้งเล็กน้อย มีลักษณะเหี่ยวมากกว่า และมีช่องว่างมาก แต่การอบแห้งอย่างช้าๆ ผิวหน้าจะโค้งมากกว่าและมีเนื้อแน่น ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้จากการอบแห้งทั้งสองแบบจะ

มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นน้อยจะดูดซับน้ำและคืนรูปได้ดีกว่า และมีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารสด ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่า แต่จะเสียค่าใช้จ่ายในด้านการบรรจุหีบห่อสูง เพราะมีปริมาตรต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่า ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นมาก การคืนรูปจะยากกว่า แต่ผู้ผลิตที่ซื้อไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารจะชอบมากกว่า เพราะเสียค่าใช้จ่ายในการบรรจุ การขนส่ง และการเก็บรักษาน้อยกว่า สำหรับการคืนรูปนั้นไม่เป็นปัญหาสำหรับผู้ผลิตเพราะสามารถให้ความร้อนในการคืนรูป



ภาพที่ 6.23 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง
ที่มา : Potter & Hotchkiss (1995)

2) การเกิดเปลือกแข็ง (Case hardening)

การอบแห้งถ้าน้ำระเหยไปจากผิวหน้าของอาหารอย่างรวดเร็ว ไม่สมดุลกับการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมาที่ผิว ผิวหน้าเกิดลักษณะแห้ง แข็ง กระด้าง และเป็นแผ่นฟิล์มปิดสนิท น้ำภายในอาหารยังมีอยู่มาก แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกสู่ผิวหน้าของอาหารได้ ลักษณะเช่นนี้ เรียก การเกิด Case hardening หรือรู้จักกันในชื่อ การเกิดเปลือกแข็ง (Crust formation) สาเหตุเกิดจากการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง อัตราการอบแห้งสูง น้ำภายในอาหารเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวหน้าไม่ทัน และเกิดขึ้นกับอาหารที่มีเนื้อแน่น เพราะการเคลื่อนที่ของน้ำมาสู่ผิวหน้าของอาหารจะช้า ไม่ทันการระเหยที่ผิวหน้า

อาหารที่มีส่วนประกอบของน้ำตาล แป้ง โปรตีนที่ละลายน้ำ และสารที่สามารถเกิดเจลในระหว่างการอบแห้งจะมีการเคลื่อนที่ของสารเหล่านี้มากับน้ำมาอยู่ที่ผิวหน้าของอาหาร เกิดเป็นแผ่นฟิล์มหรือเจลเมื่อได้รับความร้อน ทำให้ผิวของอาหารเกิดการอุดตัน น้ำซึมผ่านได้ยาก วิธีการแก้ไขโดย เลือกอุณหภูมิในการอบแห้งให้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของน้ำ

สำหรับอาหารพวกแป้ง อาหารที่มีเนื้อแน่น เช่น กล้วย มันฝรั่ง เห็ดฟาง ควรลดขนาดลงก่อนการอบแห้ง เพื่อลดระยะทางในการเคลื่อนที่ของน้ำ หรืออบแห้งโดยใช้ลมร้อนที่มี

อุณหภูมิต่ำ และให้การระเหยน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ โดยการอบแห้งในบรรยากาศที่มีความชื้นสูง เช่น การอบแห้ง ลูกพรุน สปาเกตตี และมะกะโรนี เป็นต้น

การลดการเกิดเปลือกแข็งทำได้โดยลดอัตราการอบแห้ง และลดขนาดของวัตถุดิบ ความคุมอัตราการอบแห้งโดยควบคุมความชื้นของอากาศร้อนที่ใช้อบ

ในการอบแห้งอาหารเปลือกแข็งที่เกิดขึ้นมีทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ถ้าอาหารแห้งต้องนำไปคั้นรูปก่อนนำไปใช้ไม่ต้องการให้เกิดเปลือกแข็ง ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจาก ธรรมชาติต้องการลักษณะที่เป็นเปลือกแข็ง ส่วนสารให้กลิ่นรสที่ microencapsulation ต้องการให้เกิดเปลือกแข็งอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส (Rahman & Perera, 1999)

3) การเสียความสามารถในการคืนรูป (Rehydration)

อาหารแห้งเมื่อนำมาคืนรูปโดยการแช่น้ำ จะคืนน้ำกลับคืนได้ไม่ถึง 100 % และใช้เวลานาน ผลิตภัณฑ์อาหารหลังคืนรูปมีเนื้อเหนียว สูญเสียความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ และความกรอบ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหดตัว การบิดเบี้ยว การฉีกขาดของเซลล์และท่อแคปิลลารี นอกจากนี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือกายภาพ-เคมี ซึ่งมีผลมาจากความร้อนและความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้นเมื่อน้ำระเหยไปจากอาหาร ทำให้โปรตีนบางส่วนเสียสภาพธรรมชาติ ไม่สามารถดูดซับหรือจับกับน้ำได้ ผงเซลล์ สูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ ความยืดหยุ่น แป้งและกัมมีความสามารถในการจับกับน้ำได้น้อยลง สูญเสียความสามารถในการพองตัว น้ำตาลหรือเกลือที่มีอยู่ในเซลล์ที่ถูกทำลายจะสูญเสียไปโดยละลายไปกับน้ำที่แช่ สาเหตุต่างๆ เหล่านี้เป็นผลให้เนื้อสูญเสียความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ เซลล์สูญเสียความเต่ง การดูดซับน้ำกลับได้น้อยกว่าน้ำที่มีในอาหารสด

อัตราการคืนรูปอาจใช้เป็นดัชนีชี้คุณภาพของอาหาร ถ้าอาหารถูกทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะเสียหายน้อย คืนรูปได้เร็วและสมบูรณ์กว่าอาหารที่ทำแห้งไม่เหมาะสม (Fellow, 1993)

การเตรียมอาหารก่อนการอบแห้ง และการเลือกวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม ช่วยลดการเสียความสามารถในการคืนรูป เช่น ผักที่ผ่านการฉายรังสี หรือ การแช่เยือกแข็งก่อนการอบแห้ง การดูดซับน้ำเกิดไต้ดี คืนรูปได้เร็ว ผลิตภัณฑ์อาหารที่อบแห้งโดยวิธีการทำแห้งในสภาวะเยือกแข็ง มีคุณสมบัติการคืนรูปดี และอาหารมีลักษณะใกล้เคียงของสด

6.7.2. การเปลี่ยนสี

สีของอาหารหลังการอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการอบแห้งทำให้ลักษณะที่ผิวหน้าของอาหารเปลี่ยนแปลง ทำให้การสะท้อนแสงและสีเปลี่ยน นอกจากนี้ยังมีผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้ง สีของอาหารที่มีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินจะซีดจางลง เมื่อได้รับความร้อนโดยเฉพาะเมื่อใช้อุณหภูมิสูงและเวลานาน นอกจากนี้สีแอนโทไซยานินยังซีดจางลงเนื่องจากการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

สีเขียวในผักและผลไม้เกิดจากคลอโรฟิลล์เอและบี สีเขียวจะมีความคงตัวถ้ามีแมกนีเซียมอยู่ในโมเลกุล แต่แมกนีเซียมจะหลุดออกเมื่อได้รับความร้อนทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟดิน ทำให้สีซีดจางหรือเป็นสีน้ำตาล การลวกผักสีเขียวในน้ำร้อนหรือแช่ในสารละลายด่างก่อนการอบแห้งจะช่วยป้องกันการสูญเสียแมกนีเซียมทำให้สีคงทน

อัตราการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดในผลิตภัณฑ์นมและผลไม้แห้ง ขึ้นกับค่า a_w ของอาหารและอุณหภูมิในการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง และความชื้นของผลิตภัณฑ์มากกว่า 4 – 5 % และอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส

อาหารบางชนิดเกิดสีน้ำตาลขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่ง มี 2 แบบ คือ

1. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง (Enzymatic browning reaction)

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลเป็นเอนไซม์ในกลุ่มฟีนอลเลส (Phenolase) ได้แก่ ฟีนอลออกซิเดส (phenoloxidase) พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) และแคททีโคลเลส (Catecholase) เป็นต้น อุณหภูมิในการอบแห้งไม่สูงพอที่จะทำลายเอนไซม์ได้ เอนไซม์สามารถทนต่อความร้อนในการอบแห้งสูงถึง 400 องศาเซลเซียส และทนต่อความร้อนชื้น น้ำร้อน หรือไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ดังนั้นอาหารก่อนการอบแห้งควรยับยั้งเอนไซม์ก่อน โดยใช้ความร้อนชื้นหรือสารเคมีเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

2. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ (Non-enzymatic browning)

ส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซิงและกรดอะมิโนให้สารสีน้ำตาลเรียกว่าเมลานอยดิน (Melanoidin) เป็นสารที่

ร่างกายนำไปใช้ไม่ได้ คุณภาพและคุณค่าของโปรตีนด้อยลง อัตราการเกิดสีน้ำตาลเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงและในสภาวะที่อาหารมีความเข้มข้นสูง อัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุด เมื่อความชื้นลดลงถึงระดับ 20 – 15 % (a_w 0.7 – 0.6) ดังนั้นการอบแห้งในขณะที่มี a_w อยู่ในช่วง 0.6 – 0.7 ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง

การอบแห้งอาหารโดยมีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์จะถูกยับยั้ง ส่วนปฏิกริยาเมลลาร์ดจะถูกชะลอ แต่ถ้าความชื้นต่ำกว่า 1 % ปฏิกริยาเมลลาร์ดแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย แต่การลดความชื้นของอาหารลงต่ำถึง 1 % จะทำให้อาหารได้รับความเสียหายจากความร้อน การป้องกันการเกิดปฏิกริยาเมลลาร์ดในอาหารแห้ง ทำได้โดยใช้สารดูดความชื้น เช่น แคลเซียมออกไซด์ใส่ในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ในกรณีของน้ำส้มฝงที่มีความชื้น 3% บรรจุในภาชนะบรรจุที่ใส่สารดูดความชื้นลงไป จะสามารถลดความชื้นลงเหลือ 1% โดยไม่ทำให้อาหารเกิดความเสียหายจากความร้อนและปฏิกริยาเมลลาร์ด

ในกรณีที่ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้งในกระบวนการผลิตและระหว่างการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีคล้ำจะเป็นสัดส่วนกลับกับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ แต่อย่างไรก็ตามซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเป็นตัวฟอกสีแอนโทไซยานิน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลืออยู่จะเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียด้านสีของผักและผลไม้ที่เก็บรักษาไว้

การเกิดสีน้ำตาลในอาหารแห้งนอกจากปฏิกริยาทั้งสองแล้ว วิธีการอบแห้งมีผลต่อสีของอาหารแตกต่างกัน การอบแห้งด้วยลมร้อนค่า a (สีแดง) และค่า b (สีเหลือง) เพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส รองลงมา คือการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ และสุญญากาศ ส่วนการอบแห้งด้วยออสโมติกและการแช่เยือกแข็งแห้ง ค่า b เพิ่มขึ้นน้อยมาก

6.7.3. การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร

คุณค่าทางอาหารที่เหลืออยู่ในอาหารแห้งจะมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้เป็นผลมาจากวิธีการเตรียม อุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำแห้ง และสภาวะในการเก็บรักษา ในผักและผลไม้ การสูญเสียคุณค่าทางอาหารจะเกิดขึ้นในขั้นการเตรียมมากกว่าในขั้นการทำแห้ง ตัวอย่างเช่น การสูญเสียวิตามินซีระหว่างการเตรียมแอปเปิ้ลแผ่น จะสูญเสียไปในระหว่างการหั่นเป็นแผ่น 8 % การลวก 62 % การบด 10 % และการทำแห้งโดยลูกกลิ้งลมร้อน 5 %

วิตามินที่ละลายน้ำมักจะสูญเสียไปในระหว่างการเตรียม การลวก และการยับยั้งเอนไซม์ ปริมาณการสูญเสีย ขึ้นกับ วิธีการที่ใช้ในการเตรียม วิธีการอบแห้ง และสภาวะในการ

เก็บรักษา

วิตามินซีและแคโรทีนอยด์ถูกทำลายโดยการออกซิเดชัน ไรโบฟลาวินมีความไวต่อแสง ส่วนไทอามีนไม่ทนต่อความร้อนและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ใช้ในการป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล การทำแห้งในเวลาสั้นๆ การใช้อุณหภูมิต่ำในการทำแห้ง การเก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นและออกซิเจนต่ำ เป็นวิธีที่ช่วยลดการสูญเสียวิตามินเหล่านี้ได้มาก ส่วนวิตามินที่ละลายน้ำตัวอื่นจะทนต่อความร้อนและการออกซิเดชันได้มากกว่า ดังนั้นจะมีการสูญเสียในระหว่างการทำแห้งไม่เกิน 5 – 10 % (ยกเว้น การสูญเสียจากการลวก)

สารอาหารที่ละลายในน้ำมัน เช่น กรดไขมันที่จำเป็น และวิตามินเอ ดี อี และเค คงเหลืออยู่ในอาหารแห้งเกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามน้ำเป็นตัวทำลายโลหะหนัก ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่ไม่อิ่มตัว ขณะทำแห้งน้ำระเหยออกไป ตัวเร่งจะมีความเข้มข้นขึ้นและว่องไวยิ่งขึ้น เร่งอัตราการเกิดออกซิเดชันให้เร็วขึ้น วิตามินที่ละลายในน้ำมันจะสูญเสียไปจากการทำปฏิกิริยากับเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของไขมัน การสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษา สามารถลดได้โดยการลดความเข้มข้นของออกซิเจนและอุณหภูมิในการเก็บรักษา และเก็บโดยไม่มีแสง

นอกจากนี้การอบแห้งผลไม้โดยวิธีการอบแห้งต่างๆ มีผลต่อการสูญเสียวิตามินในปริมาณต่างๆ กัน การตากแห้งโดยแสงแดด แคโรทีนสูญเสียไปมาก แต่ถ้าวอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แคโรทีนจะสูญเสียไปเพียงเล็กน้อย ส่วนวิตามินซีการตากแห้งด้วยแสงแดดจะสูญเสียไปเกือบทั้งหมด แต่โดยวิธีการทำแห้งในสภาวะเยือกแข็งสามารถรักษาวิตามินส่วนใหญ่ไว้ได้ การตากแห้งโดยใช้แสงแดดทำให้วิตามินสูญเสียไปมากกว่าการใช้เครื่องมืออื่นๆ

ค่า biological value และความสามารถในการย่อยของโปรตีนในอาหารส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก อย่างไรก็ตามโปรตีนนมเสียสภาพธรรมชาติไปบางส่วนจากการทำแห้งด้วยวิธีลูกกลิ้งลมร้อน ทำให้นมผงละลายได้น้อยลง จับกันเป็นก้อน ค่า biological value ลดลงในช่วง 8 – 30 % ขึ้นกับ อุณหภูมิและเวลา การทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่มีผลต่อค่า biological value ของโปรตีนนม ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงและที่ความชื้นสูงกว่า 5 % ค่า biological value ลดลงจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างไลซีนกับแกล็กโทส ไลซีนนั้นไวต่อความร้อนและสูญเสียไปในนํ้านมพร้อมมันเนย 3 – 10 % โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ 5 – 40 % โดยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งร้อน

6.7.4. การสูญเสียกลิ่นรสและกลิ่นหอม

ในการทำแห่งความร้อนไม่เพียงแต่ระเหยน้ำออกจากอาหาร แต่จะพาเอาสารระเหยที่เป็นตัวให้กลิ่นรสและกลิ่นหอมไปด้วย สารระเหยจะสูญเสียไปมากหรือน้อย ขึ้นกับ อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในอาหาร และความดันไอของสารระเหย สารระเหยที่มีคุณสมบัติในการกลายเป็นไอสูง จะสูญเสียไปในช่วงแรกๆ ของการทำแห่ง มีสารระเหยน้อยชนิดที่สูญเสียไปในช่วงท้ายๆ ของการทำแห่ง การควบคุมสภาวะในช่วงแรกของการทำแห่ง จะช่วยลดการสูญเสียสารระเหย อาหารที่มีมูลค่าสูง ราคาขึ้นกับกลิ่นรสและความหอม เช่น เครื่องเทศและสมุนไพร ควรจะอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้พื้นที่ผิวของอาหารก็เป็นสาเหตุของการสูญเสียกลิ่นรส การอบแห้งแบบพ่นฝอยอาหารมีพื้นที่ผิวมากแห้งเร็ว แต่ในขณะเดียวกันการสูญเสียสารระเหยก็เกิดขึ้นมากเช่นเดียวกัน สาเหตุรองที่ทำให้กลิ่นหอมสูญเสียไป คือการออกซิเดชันของรงควัตถุ วิตามิน และไขมันในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอาหารแห้งมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ออกซิเจนแทรกอยู่ได้ อัตราการเสื่อมเสียขึ้นกับอุณหภูมิในการเก็บรักษา และ ค่า a_w ของอาหาร

การป้องกันการสูญเสียสารระเหยในการอบแห้งอาหารยังทำไม่ได้ วิธีการที่จะรักษากลิ่นรสเอาไว้ทำได้ดังนี้

1. การดักจับสารระเหยที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้งและทำให้เกิดการควบแน่น แล้วเติมกลับไปในผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทำแห่ง
2. ผสมสารระเหยที่ดักจับไว้กับสารประกอบที่ทำหน้าที่ตรึงกลิ่นรส หรือใช้สารให้กลิ่นจากแหล่งอื่นเติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทำแห่ง
3. เติมน้ำมันหรือสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตลงไปในอาหารเหลวก่อนการอบแห้ง โมเลกุลของสารเหล่านี้จะช่วยเกาะเกี่ยวเก็บกักสารระเหยไว้ภายใน ช่วยลดการสูญเสียของสารระเหย
4. เติมน้ำมันหรือกระตุ้นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ผลิตสารให้กลิ่นรสที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ เช่น หอมและกระเทียมจะอบแห้งในสภาวะที่สามารถรักษาเอนไซม์ที่เป็นตัวให้กลิ่นรส

ในการทำแห่งนอกจากการสูญเสียสารระเหยแล้วก็จะเกิดกลิ่นของสารระเหยใหม่จากการรวมตัวจากปฏิกิริยาเคมี เช่นในกรณีการทำแห่ง bell pepper สารระเหยที่มีอยู่ระเหยไปและเกิดกลิ่นรสใหม่ขึ้น

6.7.5. การเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร

1. ในการอบแห้งเมื่อน้ำระเหยไป ปริมาณสารอาหารที่เหลืออยู่ในอาหารแห้ง (เปรียบเทียบกับหน่วยน้ำหนัก) จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

2. การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในอาหาร โปรตีนได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ จะสูญเสียสภาพธรรมชาติ คุณภาพของโปรตีนจะด้อยลง ย่อยยาก ทำให้ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง การลดอุณหภูมิในการอบแห้งช่วยให้โปรตีนย่อยได้มากขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงของไขมัน เพอร์ออกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไขมันกับโปรตีนหรือวิตามิน ไขมันอาจแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง เร่งการเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ ไขมันในอาหารเป็นตัวการทำให้อาหารเหม็นหืน ยิ่งไขมันสูง อุณหภูมิสูง การหืนเกิดเร็วขึ้น ดังนั้นในการอบแห้งอาหารที่มีไขมันสูงควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูงเวลานาน โดยอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำหรืออบแห้งภายใต้สุญญากาศหรือใช้สารเคมี BHA (Butyrate hydroxy anisole) และ BHT (Butyrate hydroxy toluene)

การเหม็นหืนไม่ได้เกิดขึ้นในทันที แต่จะเกิดเมื่อเก็บอาหารไว้ระยะหนึ่ง โดยเฉพาะอาหารที่ผ่านความร้อนการเหม็นหืนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

6.8. การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง

6.8.1. ผักและผลไม้

ผัก ผักที่นิยมนำมาอบแห้ง ได้แก่ ถั่วลันเตา มันฝรั่ง แครอต กะหล่ำปลี และข้าวโพด การเตรียมผักเพื่อเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง จะคล้ายกับการถนอมอาหารวิธีอื่นๆ คือ ประกอบด้วย ขั้นตอนการทำความสะอาด ปอกเปลือก ตัดแต่งเอาตำหนิออก ลดขนาดโดยหั่นเป็นแว่น เป็นลูกเต๋า เป็นชิ้น และเพื่อป้องกันปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสี จะต้องยับยั้งเอนไซม์โดยการลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 98 – 100 องศาเซลเซียส ผักต่างๆ ไปใช้เวลา 1 – 3 นาที ถั่วลันเตา 1.5 – 3 นาที และเพื่อลดรสขื่นขมและกลิ่นเหม็นเขียว ควรเติมโซเดียมคลอไรด์ 1 – 2 % หรือ เดิมโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำที่ใช้ลวก เพื่อช่วยรักษาสีเขียว แต่การลวกด้วยความร้อนจะทำลายเนื้อสัมผัสของผัก ดังนั้นควรแช่ผักในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการลวกเพื่อช่วยรักษาเนื้อสัมผัส

วิธีการอบแห้งผักที่นิยมใช้ คือ การอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาด แบบอุโมงค์ และแบบลอยตัวในลมร้อน อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ถั่ว 74 องศาเซลเซียส แครอต 68

องศาเซลเซียส ข้าวโพด 71 องศาเซลเซียส และหอม 57 องศาเซลเซียส ผักทั่วไปๆ ประมาณ 60 – 63 องศาเซลเซียส ส่วนผักผึ่งวิธีการอบแห้งที่ใช้ คือ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง แบบพ่นฝอย สำหรับการอบแห้งด้วยวิธีการทำแห้งในสภาวะเยือกแข็งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี คีรูปร่าง แต่ค่าใช้จ่ายสูง ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ผักอบแห้งต้องไม่เกิน 4%

ผลไม้ การเตรียมผลไม้เพื่อการอบแห้งมีขั้นตอนแตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ดังนี้ คือ การทำความสะอาด คัดขนาด ปอกเปลือก เจาะแกน แคะเมล็ด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ผลไม้บางชนิดต้องเอาเปลือกออก เช่น กล้วย มะม่วง มะละกอ และขนุน แต่มีผลไม้บางชนิดสามารถตากแห้งทั้งเปลือก เช่น องุ่น ลูกพรุน และมะยม เป็นต้น ที่ผิวหรือเปลือกของผลไม้เหล่านี้จะมีไขซึ่งเป็นสารประเภทเพกทินเคลือบอยู่ทำให้น้ำเคลือบออกสู่อากาศได้ยาก เกิดลักษณะเหี่ยวยุบ การแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที จะช่วยละลายไขและเพกทินทำให้ผิวผลไม้แตกเป็นร่องๆ น้ำระเหยได้ดีขึ้น

การอบแห้งผลไม้มีปัญหาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ การยับยั้งเอนไซม์โดยใช้ความร้อน ต้ม นึ่ง และลวก ทำให้น้ำเยื่ออ่อนตัว ไม่เป็นที่นิยม ควรใช้วิธีแช่ผลไม้ในซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นประมาณ 2000 – 3000 ส่วนในล้านส่วน หรือรมด้วยควีนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระหว่างการอบแห้ง การอบแห้งผลไม้นิยมแช่ผลไม้ในน้ำเชื่อมซึ่งจะช่วยลดปริมาณน้ำในผลไม้โดยหลักการออสโมซิส ช่วยลด a_w ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง ผลไม้แห้งมีเนื้อสัมผัสที่ดี

วิธีการอบแห้ง แอปเปิลอบแห้งโดยตู้อบแบบเตาเผา แอปริคอตและพีช สามารถทำแห้งโดยการตากแดด ตู้อบแบบถาด แบบอุโมงค์ และตู้อบแบบสุญญากาศ

น้ำผักและน้ำผลไม้ การผลิตน้ำผักและน้ำผลไม้ผงจะมีการเติมกลูโคสไซรัปลงไป ในน้ำผักและน้ำผลไม้เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็ง ทำให้มีความชื้นหนืดที่เหมาะสมในการอบแห้ง การอบแห้งใช้ได้ทั้งเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง แบบพ่นฝอย แบบสุญญากาศ แบบโฟมเมท และ Freeze dry แต่ไม่นิยมอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เพราะความร้อนสูงทำลายสี กลิ่นรส และคีรูปร่าง

6.8.2. ผลิตภัณฑ์ปลา

การผลิตผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง นิยมใช้ปลาที่มีไขมันต่ำกว่า 2 % การเตรียมปลาเพื่ออบแห้ง โดยล้างทำความสะอาด ตัดหัว ควักไส้ อาจอบแห้งทั้งตัว หรือถ้าเป็นปลาตัวใหญ่นำมาแลหรือหั่นเป็นชิ้นก่อนนำไปอบแห้ง นิยมอบแห้งโดยตู้อบลมร้อน การรมควัน และทำเค็ม แต่

ผลิตภัณฑ์ปลาแห้งมีรสชาติไม่ดี เกิดกลิ่นหืน สี เนื้อสัมผัสเปลี่ยน และการคืนรูปไม่ดี ถ้าใช้วิธีการทำแห้งในสภาวะเยือกแข็งจะได้ปลาแห้งที่มีคุณภาพดี แต่ค่าใช้จ่ายสูง ไม่เหมาะในการทำแห้งปลาที่มีราคาถูก การเก็บปลาแห้งในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยจะช่วยป้องกันกลิ่นหืนและการเปลี่ยนแปลงสี

6.8.3. ไข่ผง

ผลิตจากไข่ทั้งฟองหรือแยกเป็นไข่ขาวผงและไข่แดงผงก็ได้ ปริมาณของแข็งในไข่ทั้งฟองอยู่ในช่วง 25 – 27 % ส่วนในไข่แดงอยู่ในช่วง 45 – 48 % แต่ก่อนจะนำไปอบแห้งต้องลดปริมาณกลูโคสก่อนโดยใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจากกลูโคสทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนทำให้ผลิตภัณฑ์ไข่ผงมีสีคล้ำและโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ การเติมน้ำตาลที่เป็นนอนรีดิทวซิงจะช่วยรักษาคุณสมบัติการตีขึ้นฟูและการเกิดฟอง หลังจากนั้นนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 64 – 66 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายเชื้อซาลโมเนลลาและจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการ แล้วจึงนำไปอบแห้ง ไข่ขาวผงสามารถอบแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย ตู้อบแห้งแบบถาด หรือ แบบอุโมงค์ (Desrosier, 1970) ส่วนไข่ผงที่ทำจากไข่ทั้งฟอง นิยมอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้าประมาณ 120 – 165 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมร้อนออกประมาณ 50 – 65 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของไข่ผงที่ต้องการ คือ จะต้องละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติในการตีขึ้นฟู การจับกับอากาศ การเกิดฟอง การเกิดอิมัลชันที่ดี นอกจากนี้ยังควรมีสี กลิ่นรสดี แต่ความร้อนจะทำลายสมบัติเหล่านี้ ดังนั้นต้องระมัดระวังในการใช้ความร้อน การเติมกรดที่เป็น Chelating agent เช่น อีดีทีเอ (EDTA) โซเดียมเฮกซาฟอสเฟต ช่วยลดการต้านทานความร้อนของเชื้อซาลโมเนลลาในขั้นตอนพาสเจอร์ไรซ์ การผลิตไข่ขาวผงควรเติมโซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulfate) ในปริมาณ 0.1 % ช่วยการตีขึ้นฟู โดยจะช่วยลดผลกระทบจากการใช้ความร้อนในขั้นตอนพาสเจอร์ไรซ์และการอบแห้ง

6.8.4. เชื้อจุลินทรีย์ผง

การอบแห้งแบคทีเรียโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยใช้ในโตรเจนเป็นตัวกลางในการทำแห้ง ใช้ความเข้มข้นของเชื้อ(วัดในรูปของแข็ง) 6 % อุณหภูมิตัวกลางต่ำกว่า 95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้าย 4 % ตัวอย่างของแบคทีเรียที่ทำแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ *Escherichia coli* *Lactobacillus casei* *Streptococcus lactis* *Bacillus subtilis* และ *Serratia marcescens*

วิธีการเตรียม ความชื้นสุดท้าย และสภาวะในการเก็บรักษา เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการรอดชีวิตของเซลล์ของจุลินทรีย์ผง

ยีสต์ผงทำให้แห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับการทำให้แห้ง *Toluropsis utilis* จะใช้สารละลายยีสต์ที่มีความเข้มข้น 22 % (ของแข็ง) อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 300 – 350 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศร้อนออก 100 องศาเซลเซียส *Saccharomyces cerevisiae* ใช้สารละลายยีสต์ที่มีความเข้มข้น 50 % (ของแข็ง) แต่ผลิตภัณฑ์ยีสต์ผงที่ได้จะดูความชื้นง่าย ดังนั้นควรใช้สภาวะที่เย็นและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกับผลิตภัณฑ์ยีสต์ผง

6.8.5. เอนไซม์ผง

เอนไซม์ผลิตโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยให้วัตถุดิบกับอากาศร้อนเคลื่อนที่ตามกัน อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 143 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศร้อนออก 71 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากห้องอบประมาณ 55 องศาเซลเซียส ความชื้นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 10 – 20 % และใช้การอบแห้งแบบสองขั้นตอนจะทำให้เอนไซม์ไม่สูญเสียกิจกรรม ตารางที่ 6.4 แสดงชนิดของเอนไซม์ผงที่ผลิตในระดับการค้าโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 6.4 เอนไซม์ผงที่ผลิตโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ชนิดของเอนไซม์	การใช้ประโยชน์
Amylase	ขนมอบ brewing สิ่งทอ
Protease	Brewing การหมักให้นุ่ม การผลิตเนยแข็ง tanning ผงซักฟอก
Glucose oxidase	เครื่องตี
Pectinase	อาหารหมัก การทำน้ำผลไม้ให้ใส
Lipase	ผงซักฟอก
Trypsin	Wound debridement
Rennin	การผลิตเนยแข็ง
Lactase	ไอศกรีม
Cellulase	การแตกตัวของเซลลูโลส

ที่มา :Masters (1991)

6.8.6. กาแฟผงชนิดละลายทันที (Instant coffee)

สารสกัดกาแฟที่มีปริมาณของแข็ง 15 – 30 % นำไปทำให้เข้มข้นจนถึง 60 % โดยเครื่องระเหยแบบ falling film หรือเครื่องทำให้เข้มข้นแบบหมุนโดย rotary thin film ภายใต้สูญญากาศ นำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะมีอนุภาคเป็นทรงกลม ขนาดประมาณ 300 ไมครอน ค่า bulk density 0.22 กรัมต่อลบ.ซม.

6.8.7. ชาผงชนิดละลายทันที (Instant coffee)

สารสกัดจากใบชาที่มีปริมาณของแข็ง 5 – 20 % นำไปทำให้เข้มข้นจนถึง 40 % โดยเครื่องระเหยแบบ falling film ชนิดที่มีระบบดึงกลิ่นรสกลับคืนมาได้ นำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ช่วยควบคุม bulk density ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 200 – 250 องศาเซลเซียส และอากาศร้อนเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับอาหารเหลว

6.8.8. นมผง

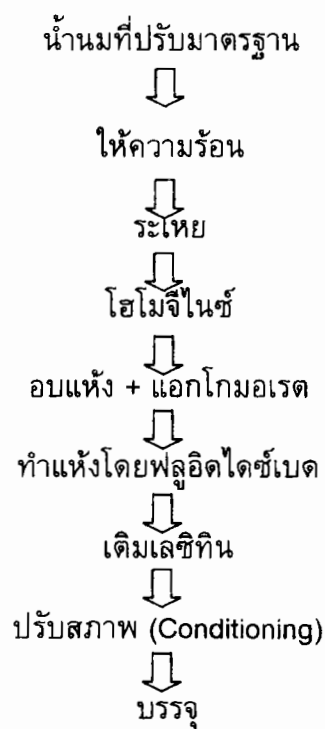
การผลิตนมผงสามารถผลิตได้ทั้งเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหรือแบบพ่นฝอย แต่นมผงที่ผลิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งได้รับความร้อนสูง ละลายน้ำได้น้อย และละลายเฉพาะในน้ำร้อน สี กลิ่นรส จะด้อยกว่านมผงที่อบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ละลายน้ำได้ดี คีรูรูปแล้วมีลักษณะใกล้เคียงนมสด

การผลิตทางนมผงโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย กระบวนการผลิตแสดงในภาพที่ 6.24 โดยนำน้ำนมดิบปรับให้มีคุณภาพตามมาตรฐาน พาสเจอร์ไรซ์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยด้วยเครื่องระเหยแบบ falling film ให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในช่วง 45 – 55 % ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปน้ำตาลจะตกผลึก นำไปโฮโมจีไนซ์แล้วเข้าสู่การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีเครื่องฟลูอิดไดซ์เบตติดตั้งอยู่ฐาน ทำหน้าที่ให้อนุภาคผงเย็นลง หรือเชื่อมกับตัวลำเลียงอนุภาคโดยระบบลม

สภาวะในการอบแห้งนมผงที่มีคุณสมบัติในการละลายทันที อากาศร้อนที่ดูดออกมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ มีการจับตัวเป็นก้อนของนมผงที่มีความชื้นสูงเมื่อออกจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งขั้นสุดท้ายจะเกิดขึ้นภายในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบต อนุภาคที่ละเอียดจะนำกลับเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อแยกโคมอเรตอีกครั้งหนึ่ง แต่ในบางครั้งการ

แอกโกมอเรตจะทำแยกต่างหาก ทำให้เกิดการแอกโกมอเรตในระดับสูงและมีคุณสมบัติในการละลายที่ที่ดี

การผลิตนมผงพร้อมมันเนยโดยเตรียมน้ำนมที่มีความเข้มข้น 40 – 50 % อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าเท่ากับ 150 – 170 องศาเซลเซียส มีความชื้นสุดท้าย 2 – 5 % อบแห้งในลักษณะเดียวกับหางนมผง แต่จะใช้ค้อนยางเคาะผนังของห้องอบเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันการเกาะตัวของอนุภาคนมผงที่มีสาเหตุมาจากปริมาณไขมันในน้ำนม ทำให้อนุภาคมีลักษณะเหนียวเหนอะ



ภาพที่ 6.24 ขั้นตอนการผลิตหางนมผง

ที่มา : Barbosa-Canovas & Vega-Mercado (1996)

6.9. การผลิตอนุภาคผงชนิดละลายทันที (Instant powder)

การเปลี่ยนอนุภาคเดี่ยวๆ ไปเป็นอนุภาคที่จับตัวกันเป็นกลุ่มและมีรูพรุน เรียกกระบวนการนี้ว่า Instantizing process หรือ แอ็กโกโมเลต

แอ็กโกโมเลต คือ การทำให้เกิดการจับตัวกันของอนุภาคขนาดเล็กเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยฉีดพ่นน้ำร้อน ไอน้ำ หรืออาหารเหลวที่ร้อนลงบนอาหารผง ทำให้ผิวเปียกจับตัวกัน มีขนาดใหญ่ขึ้น แล้วนำไปอบแห้ง จะช่วยเพิ่มขนาดและช่องว่างของอากาศในอาหารผง เมื่อเติมน้ำจะแทรกซึมเข้าไปแทนที่อากาศอย่างรวดเร็ว เปียกทั่วถึง และกระจายตัวดี การแอ็กโกโมเลตช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในด้านการเปียกและการกระจายตัวของอนุภาคผง

อาหารผงที่จะมีคุณสมบัติเป็น Instant powder ต้องประกอบด้วยคุณสมบัติ 4 ประการคือ

1. ความสามารถในการเปียกน้ำ (Wet ability)

ความสามารถของอาหารผงในการดูดน้ำที่ผิวหรือทำให้เปียกด้วยของเหลว เป็นจุดเริ่มต้นในการคืนรูป ความสามารถในการเปียกน้ำของอนุภาคผง ขึ้นกับ ขนาดของอนุภาคผง และคุณสมบัติที่ผิวของอนุภาคผง อนุภาคผงที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมาก น้ำเปียกไม่ทั่วทุกอนุภาค ส่วนที่ไม่เปียกจะจับเป็นก้อนโดยมีชั้นของผิวที่เปียกกรรมกัน (Clumping) ทำให้น้ำแทรกซึมเข้าไปภายในยาก อนุภาคผงที่มีขนาดเล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร จะไม่มีคุณสมบัติในการละลายทันที และอนุภาคผงที่มีส่วนประกอบของไขมันที่ผิวหน้าจะไม่รวมตัวกับน้ำ ต้องเติมสารลดแรงตึงผิว เช่น เลซิทีนช่วยให้ไขมันรวมตัวกับน้ำได้ดีขึ้น

2. ความสามารถในการจม (Sink ability)

ความสามารถที่อาหารผงจะจมลงในน้ำ หลังจากทำอนุภาคเปียกน้ำแล้ว คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นกับขนาดและความหนาแน่น อาหารผงที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นมากจมได้เร็วกว่าอาหารผงที่มีขนาดเล็กและมีความหนาแน่นน้อย แต่ถ้าอาหารผงมีขนาดใหญ่และเป็นโพรงจะเบา ความหนาแน่นน้อยจะจมช้า

3. ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility)

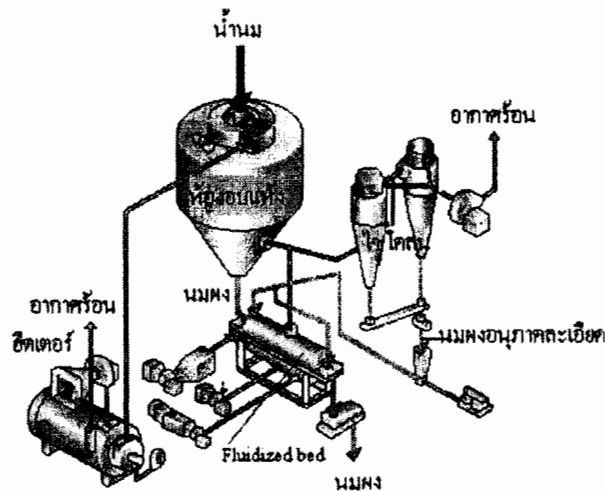
ความสามารถของอาหารผงในการกระจายตัวในน้ำได้ดีโดยไม่จับกันเป็นก้อน ถ้ากระจายตัวได้ดีก็จะละลายน้ำได้ดี ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติในด้านนี้ คือ จะต้องไม่มีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 250 ไมครอน หรือ ไม่มีการแอ็กโกโมเลต

4. ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความสามารถในการละลายของอาหารผงหรืออัตราเร็วในการละลาย ขึ้นกับ สมบัติทางเคมีของอาหารผง เช่น อาหารผงที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบมากจะละลายน้ำได้ดี และยังขึ้นกับสมบัติทางฟิสิกส์ของอนุภาค เช่น ลักษณะและรูปร่างของผลึกเกี่ยวข้องกับความสามารถในการละลาย

6.9.1. การปรับปรุงการละลายของอาหารผง

อาหารผงที่ผลิตขึ้นโดยใช้วิธีการอบแห้งและสภาวะในการอบแห้งต่างๆ กันจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ไม่เท่ากัน ถ้าอาหารผงที่ผลิตได้ละลายน้ำไม่ดี การปรับปรุงการละลายของอาหารผง ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม ความดัน ความเข้มข้น และองค์ประกอบของอาหาร การใช้สารลดแรงตึงผิว การเติมน้ำตาล และวิธีการอบแห้ง การอบแห้งแบบพ่นฝอย และ Freeze dry จะให้อาหารผงที่มีการละลายที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆ หลังการปรับปรุงสภาวะการอบแห้งแล้วอาหารผงยังละลายได้ไม่ดี จะต้องพิจารณาที่ขนาดของอนุภาคผง ขนาดของอนุภาคผงที่เล็กเกินไป จะเป็นปัญหาต่อการละลายดังได้กล่าวแล้ว มักพบในการทำแห้งแบบพ่นฝอย การปรับปรุงทำได้โดยการแอกโกโมเลต (Agglomerate) โดยใช้เครื่องฟลูอิดไดซ์เบดเชื่อมต่อกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (ภาพที่ 6.25)



ภาพที่ 6.25 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม
ที่มา : Tetra pak (1995)

6.9.2. การเก็บรักษาอาหารแห้ง

อาหารแห้งแม้ว่าจะมีความชื้นต่ำอยู่ในระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก็ตาม แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ก็จะเกิดการเสื่อมเสียในด้านต่างๆ เช่น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ ตลอดจนอาจเกิดการเน่าเสียเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ การเสื่อมเสียในส่วนนี้ส่วนใหญ่เกิดจากสภาวะในการเก็บรักษาไม่เหมาะสม ทำให้อาหารแห้งหรืออาหารผงเกิดการเสื่อมเสียจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1. ปฏิกริยาออกซิเดชัน

อาหารแห้งที่มีโครงสร้างที่มีรูพรุนอยู่ค่อนข้างมากทำให้มีออกซิเจนแทรกอยู่ ก่อให้เกิดการออกซิเดชันของสารอาหาร เช่น ในผลิตภัณฑ์นมผงการออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดกลิ่นหืนจาก 8 -แอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้น ผักและผลไม้ส่วนใหญ่แม้ว่าจะมีไขมันน้อยมาก แต่ก็ยังเกิดการออกซิเดชันได้จากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวให้สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะเกิดการพอลิเมอร์ไรซ์ต่อไปเป็นแอลดีไฮด์ คีโตน และกรด เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นหืน กลิ่นฟาง และกลิ่นอื่นๆ ที่ไม่พึงประสงค์ ผักบางอย่างชนิด เช่น แครอต จะเกิดกลิ่นที่ผิดปกติจากการออกซิเดชันของแคโรทีนไปเป็น β - ไอโอโนน การออกซิเดชันของรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ทำให้สีเปลี่ยนแปลง การออกซิเดชันของวิตามินซีและไทอามีนทำให้วิตามินสูญเสียไป

การป้องกันการเกิดออกซิเดชันในอาหารแห้ง ทำได้โดยการบรรจุแบบสุญญากาศหรือก๊าซเฉื่อย เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน เดิมสารเคมีป้องกันการเกิดออกซิเดชันทั้งในรูปสารสังเคราะห์หรือสารธรรมชาติ

การนำเทคนิคทางด้านไอโซเมอไรซ์มาใช้ป้องกันอาหารแห้งจากปฏิกริยาออกซิเดชัน โดยใส่เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสในภาชนะบรรจุอาหารแห้งที่มีกลูโคสเป็นส่วนประกอบ และภาชนะบรรจุมีคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านแต่ความชื้นผ่านไม่ได้ ออกซิเจนจะถูกกำจัดออกจากช่องว่างภายในภาชนะบรรจุ

นมผงเก็บในบรรยากาศของไนโตรเจนที่มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ 10 % คาร์บอนไดออกไซด์จะสร้างสภาวะสุญญากาศขึ้นบางส่วน อากาศจะถูกขับออกจากอนุภาคผง และถูกกำจัดออกไปหลังการเติมก๊าซ 24 ชั่วโมง อาหารแห้งที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทและเติมไนโตรเจนเข้าไปแทนที่ออกซิเจนสามารถเก็บไว้ได้นานกว่า 1 ปี (Rahman & Perera, 1999)

การป้องกันการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสจากปฏิกริยาออกซิเดชันโดยไฮโดรไลติกเอนไซม์ทำได้โดยการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริกกับผลไม้ การพาสเจอร์ไรซ์น้ำนมหรือน้ำผลไม้ และโดยการลวกผัก

2. ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้เกิดจากเอนไซม์ อาหารที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลและกรดอะมิโนทำให้เกิดสีคล้ำ แข็ง เกิดการสูญเสียโปรตีน เช่น ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก อาหารทะเล และผลไม้ เป็นต้น

3. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า 28 องศาเซลเซียส ไม่ว่าจะมีความชื้นหรือไม้อาหารจะมีสีเข้มขึ้น

4. การเปลี่ยนแปลงความชื้น

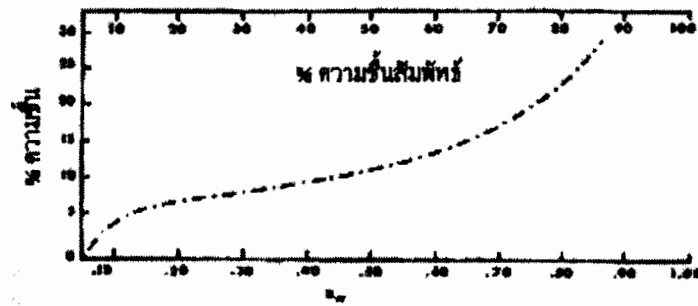
อาหารแต่ละชนิดมีสมดุลของความชื้นสัมพัทธ์เฉพาะตัว (Equilibrium moisture content) ซึ่งก็คือ ความชื้นที่อุณหภูมิหนึ่งซึ่งอาหารจะไม่รับหรือสูญเสียความชื้นให้กับบรรยากาศ โดยปกติอาหารแห้งหรืออาหารผงจะมีความชื้นต่ำ เมื่อเก็บในบรรยากาศปกติที่มีความชื้นสูงกว่าความชื้นสมดุลของอาหารนั้นๆ เกิดการดูดซับความชื้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเสื่อมเสียทางกายภาพ เช่น เนื้อสัมผัสนิ่ม ไม่กรอบ จับตัวเป็นก้อน โดยเฉพาะอาหารแห้งที่มีน้ำตาล เกลือ และกรด เป็นส่วนประกอบ จะดูดความชื้นได้ดียิ่งขึ้น และถ้าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่จุลินทรีย์เจริญได้ก็จะทำให้เกิดการเน่าเสีย

การหาสมดุลความชื้นสัมพัทธ์ของอาหารที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถทำได้โดยเก็บอาหารแห้งไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับต่างๆ เป็นเวลาหลายๆ ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักของอาหาร ความชื้นที่จุดหนึ่งซึ่งอาหารไม่มีการรับหรือสูญเสียความชื้นให้กับบรรยากาศ คือ สมดุลความชื้นสัมพัทธ์ของอาหารที่อุณหภูมินั้น (Potter & Hotchkiss, 1995) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่อาหารดูดซับกับความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ คือ ซอร์พชันไอโซเทอม (Sorption isotherms)

ภาพที่ 6.26 แสดงความชื้นสมดุลของอาหารที่อุณหภูมิหนึ่ง เมื่อเก็บไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นต่างๆ ตัวอย่างเช่น อาหารที่มีความชื้น 20 % นำมาเก็บในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ความชื้นของอาหารจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าอาหารมีความชื้นต่ำกว่า 20 % เมื่อนำมาเก็บในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75 % อาหารจะดูดความชื้นจนกระทั่งมีความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 20 % ในทางตรงกันข้ามถ้าอาหารมีความชื้นสูงกว่า 20 % อาหารจะสูญเสียความชื้นให้กับบรรยากาศจนถึงความชื้นสมดุลที่ 20 % ภายใต้สภาวะดังกล่าวอาหารจะมีความชื้นถึงความชื้นสมดุลภายในเวลาสั้นๆ ไม่กี่ชั่วโมง แต่อาหารบางชนิดต้องใช้เวลาเป็นวันหรือเป็นสัปดาห์

การทราบสมดุลความชื้นสัมพัทธ์ของอาหาร มีความสำคัญในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอาหาร รวมทั้งบรรจุภัณฑ์ ถ้าบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารไม่สามารถป้องกันความชื้น เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์อาหารในบรรยากาศที่มีความชื้นสูงกว่าสมดุลความชื้น

สัมพัทธ์ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ก็จะทำให้อาหารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น อาหารอาจเกิดการจับกันเป็นก้อน หรือ เกิดการเสื่อมเสียทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์



ภาพที่ 6.26 เส้นแอปซอร์พชันไอโซเทอมของอาหาร
ที่มา : Potter & Hotchkiss (1995)

ดังนั้นในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแห้ง จะต้องควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ สภาวะในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ออกซิเจน แสง รวมทั้งป้องกันการปนเปื้อนจากสัตว์ แมลง และจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถทำได้โดยเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสม สามารถป้องกันแสง ความชื้น ออกซิเจน และป้องกันการปนเปื้อน หรือเก็บในสภาพสุญญากาศ หรือในบรรยากาศของไนโตรเจน และเก็บในที่เย็น นอกจากนี้อาจใช้สารกำจัดออกซิเจน หรือสารดูดความชื้นใส่ลงไปในภาชนะบรรจุก่อนที่จะปิดผนึก ก็จะช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารได้

6.10. อาหารที่มีความชื้นปานกลาง

(Intermediate moisture foods, Semi-moist foods)

หมายถึง อาหารที่บริโภคได้เลยโดยไม่ต้องนำไปคั้นรูป และสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติ มีความชื้นปานกลาง ประมาณ 20 – 50 % ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำกว่าความชื้นในอาหารสด เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ แต่สูงกว่าความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง อาหารที่มีความชื้นปานกลาง ได้แก่ น้ำผึ้ง แยม เยลลี่ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลสูง ผลิตภัณฑ์เนื้อและเนื้อหมัก นมข้นหวาน ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง

ความเข้าใจเกี่ยวกับอาหารที่มีความชื้นปานกลางจำเป็นจะต้องเข้าใจเกี่ยวกับ ค่า a_w อาหารสองชนิดที่มีปริมาณน้ำเท่ากันอาจมีค่า a_w ต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าน้ำนั้นเป็นน้ำอิสระหรือจับกับโมเลกุลอื่นๆในอาหาร

สิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับอาหารที่มีความชื้นปานกลาง คือ a_w ของอาหารซึ่งเกี่ยวข้องกับ การเจริญของจุลินทรีย์ เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าแบคทีเรียที่สำคัญในอาหารจะไม่เจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.9 แต่จะมีฮาโลฟิลิกแบคทีเรียเจริญได้ที่ a_w ต่ำถึง 0.75 และมีออสโมฟิลิกยีสต์เจริญได้ที่ a_w ต่ำกว่านี้ จุลินทรีย์เหล่านี้มีส่วนน้อยที่เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย แต่จะมีเชื้อราที่เจริญได้ในอาหารที่มี a_w ต่ำกว่า 0.8 และจะเจริญในอาหารอย่างช้าๆ หลังจากที่เก็บในบรรยากาศปกติเป็นเวลาหลาย ๆ เดือน เชื้อราจะทนความแห้งแล้งได้ดีแม้ที่ a_w ต่ำกว่า 0.7 และจะหยุดการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.65 หรือที่ความชื้นต่ำกว่า 20 % ซึ่งความชื้นในระดับนี้จะเข้าใกล้ความชื้นในอาหารอบแห้ง ขาดลักษณะความชุ่มฉ่ำ อาหารที่มีความชื้นปานกลาง ส่วนใหญ่จะมีค่า a_w ประมาณ 0.7 - 0.85 ซึ่งยังคงลักษณะความชุ่ม ความฉ่ำ ที่ a_w ระดับนี้สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย แต่ไม่ต่ำเพียงพอที่จะยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ในการเก็บระยะยาวอาจต้องเติมสารป้องกันเชื้อรา เช่น โปแทสเซียมซอร์เบต ลงไป หรืออาจเติมสาร เช่น ซูโครสและกลีเซอรอล ซึ่งเป็นสารที่เหมาะสมในการผลิตสูตรอาหารที่มีความชื้นในระดับกลาง ช่วยลด a_w ทำให้ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามการเสื่อมเสียยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น pH อุณหภูมิ และสารอาหารของจุลินทรีย์

นอกจากนี้การเก็บรักษาอาหารที่มีความชื้นปานกลางจะต้องป้องกันการสูญเสียความชื้นที่จะทำให้เนื้อสัมผัสเสียไป แต่ถ้ามีการดูดซับความชื้นอาหารจะเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ดังนั้นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความชื้นก็คือเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น