บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไย (Longan) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Dimocarpus longan* Lour. วงศ์ SAPINDECEAE จัดเป็นผลไม้ชนิดบ่มไม่สุก (non-climacteric fruit) เป็นผลไม้ที่มีรสหวานมีกลิ่นหอมและไม่มีรสเปรี้ยว โดยทั่วไปมีความหวาน 16-20 องศาบริกส์ pH 6.7-6.9 เนื้อลำไยสดมีน้ำตาลอยู่ 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส และมีกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดกลูโคนิค กรดมาลิค และกรดซิตริก เป็นต้น รวมทั้งยังมีกรดอะมิโนอีก 9 ชนิด ส่วนเนื้อลำไยอบแห้งยังประกอบด้วยเกลือแร่ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส เป็นต้น

เนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหวาน หอม และมีประโยชน์ทางโภชนาการหลายอย่างดังตารางที่ 2.1 จึงเป็นที่นิยมบริโภคของชาวไทยและชาวต่างประเทศ สามารถบริโภคได้ทั้งในรูปผลสด และในรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ลำไยทั้งเปลือกอบแห้ง เนื้อลำไยอบแห้ง ลำไยดอง ลำไยกวนปรุงรส ลำไยแช่อิ่ม น้ำลำไยผง น้ำลำไยสดหวานเข้มข้น น้ำลำไยแห้งหวานเข้มข้น ลำไยกวน ลำไยกระป๋องหรือบรรจุขวดในน้ำเชื่อม และลำไยแช่แข็ง เป็นต้น นอกจากนี้ลำไยผลสด และเนื้อลำไยอบแห้งสามารถนำมาประกอบเป็นอาหารคาว หวานชนิดต่างๆ ได้ เช่น ข้าวต้มลำไย ข้าวเหนียวเปียกลำไย บัวลอยผลไม้ คุกกี้ลำไย เค้กลำไย ขนมปังลำไย พายลำไย มัฟฟินลำไย เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ผลไม้แผ่น

ผลไม้แผ่น (Fruit leather) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อผลไม้ตีป่นแล้วนำมาทำเป็นแผ่นบางก่อนนำไปผ่านกระบวนการทำแห้ง สำหรับผลไม้ที่สามารถนำมาผลิตเป็นผลไม้แผ่นได้ เช่น แอปเปิ้ล กล้วย เชอร์รี่ ส้ม สับปะรด และสตรอเบอร์รี่ ผลไม้บางชนิดอาจจำเป็นต้องผสมน้ำตาลหรือน้ำผึ้งเพื่อเพิ่มความหวาน (Raab and Oehler, 1999)

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบของลำไยสดและลำไยอบแห้ง

ส่วนประกอบ		เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
ความชื้น	ร้อยละ	81.10	17.80
ไขมัน	ร้อยละ	0.11	0.48
เส้นใย	ร้อยละ	0.28	1.60
โปรตีน	ร้อยละ	0.97	4.60
เถ้า	ร้อยละ	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	16.98	72.70
พลังงานความร้อน	กิโลแคลอรี/100 กรัม	72.79	311.80
แคลเซียม	มิลลิกรัม/100 กรัม	5.70	27.70
เหล็ก	มิลลิกรัม/100 กรัม	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม/100 กรัม	35.50	159.50
โซเดียม	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	4.50
โปตัสเซียม	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	2,012.00
ไนอาซีน	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	3.03
กรดแพนโทเทอนิค	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	0.57
วิตามินบีสอง	มิลลิกรัม/100 กรัม	-	0.37
วิตามินซี	มิลลิกรัม/100 กรัม	69.20	137.80

ที่มา : รัตนา และอัจฉรา, 2542

ลำไยเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลไม้แผ่นได้ จากการสำรวจผู้บริโภคเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นของผุสดี (2547) พบว่า ผู้ทดสอบต้องการภาพลักษณ์ของผลไม้แผ่นที่สะอาด มีความปลอดภัย สะดวกในการรับประทาน มีคุณค่าทางโภชนาการ ผลิตจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ ปราศจากวัตถุกันเสีย เก็บรักษาได้นาน ในด้านลักษณะปรากฏ ผู้ทดสอบต้องการผลไม้แผ่นที่มีสม่ำเสมอ เป็นสีเนื้อผลไม้โดยธรรมชาติ มีความชุ่มชื้น ไม่มีรอยแตก ไม่มีผลึกน้ำตาล ด้านกลิ่น ผู้ทดสอบต้องการกลิ่นผลไม้ที่ชัดเจน ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส จะต้องไม่เหนียวติดมือ พบเนื้อผลไม้ในขณะเคี้ยว สามารถที่จะละลายได้ ไม่ติดฟัน ส่วนในด้านรสชาติ ผู้ทดสอบต้องการให้มีรสเปรี้ยว หวาน เค็มที่เหมาะสม และปัจจัยที่สำคัญปัจจัยแรกที่ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้การยอมรับ คือ ลักษณะปรากฏด้านสีของผลิตภัณฑ์ที่มีสีคล้ายเนื้อผลไม้สด แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแล้วส่วนใหญ่จะมีสีเข้มขึ้น อันเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลซึ่งเป็นผลจากได้รับความร้อนสูงในระหว่างการอบแห้ง โดยเฉพาะผลไม้ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น ลำไย ซึ่งพบว่าถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาอบแห้งนาน จะได้เนื้อลำไยที่มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ แต่ถ้าใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมก็จะได้เนื้อลำไยอบแห้งที่มีสีเหลืองทอง ซึ่งจะมีคุณภาพและมีราคาขายสูงกว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่มีสีดำ ดังตาราง 2.2 ดังนั้นในกระบวนการอบแห้งลำไยแผ่นควรใช้สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีใกล้เคียงกับเนื้อลำไยอบแห้งที่มีสีเหลืองทอง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีคุณลักษณะตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

ตาราง 2.2 ราคาเนื้อลำไยอบแห้งแต่ละเกรด

รูปผลิตภัณฑ์	ชื่อผลิตภัณฑ์	ราคาขายส่ง (บาทต่อกิโลกรัม)
	เนื้อลำไยอบแห้ง รหัส : 510303-A02	200
	เนื้อลำไยอบแห้ง เนื้อสีทอง รหัส : 510303-A02	350
	เนื้อลำไยอบแห้ง เนื้อสีทอง เกรด 2 รหัส : 510303-A02	300

ที่มา : รายการสินค้าที่น่าสนใจของชุมชน หรือ SMEs : กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรเหล่ายาว อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน, 2550

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 น้ำในอาหาร

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารทุกชนิดโดยอยู่ในรูปอิสระ (Free water) และเกาะเกี่ยวกับสารอื่น (Bound water) น้ำอิสระเป็นน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของอาหาร อาจมีการเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารบ้างด้วยพันธะที่ไม่แข็งแรงมากนัก มีคุณสมบัติเหมือนน้ำปกติ สามารถเป็นตัวทำละลายได้ มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ แต่น้ำส่วนนี้ก็ยังมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำอิสระในธรรมชาติอย่างแท้จริง จึงมักเรียกน้ำอิสระนี้ว่า " แอคทีฟวอเตอร์ " (active water) ซึ่งหมายถึงน้ำที่ยังคงรักษาคุณสมบัติของน้ำอิสระไว้ได้

ส่วนน้ำที่เกาะเกี่ยวกับสารอื่นเป็นน้ำที่เกาะติดกับอาหารด้วยพันธะที่แข็งแรงมาก อาจเป็นพันธะโควาเลนต์หรือพันธะอื่นๆ ไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย ไม่มีส่วนในปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การแสดงปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง}} \times 100$$

การแสดงปริมาณความชื้นของอาหารแบบฐานเปียก (wet weight basis) คิดจาก

$$m = \frac{\text{มวลของน้ำ}}{\text{มวลของตัวอย่าง}} \times 100$$

$$m = \frac{\text{มวลของน้ำ}}{\text{มวลของน้ำ + ของแข็ง}} \times 100$$

หรือคิดแบบฐานแห้ง (dry weight basis)

$$M = \frac{\text{มวลของน้ำ}}{\text{มวลของของแข็ง}} \times 100$$

นิยมใช้ปริมาณความชื้นแบบฐานแห้งในการคำนวณ ส่วนปริมาณความชื้นฐานเปียกใช้บอกองค์ประกอบของน้ำในอาหาร (กุลยา, 2540)

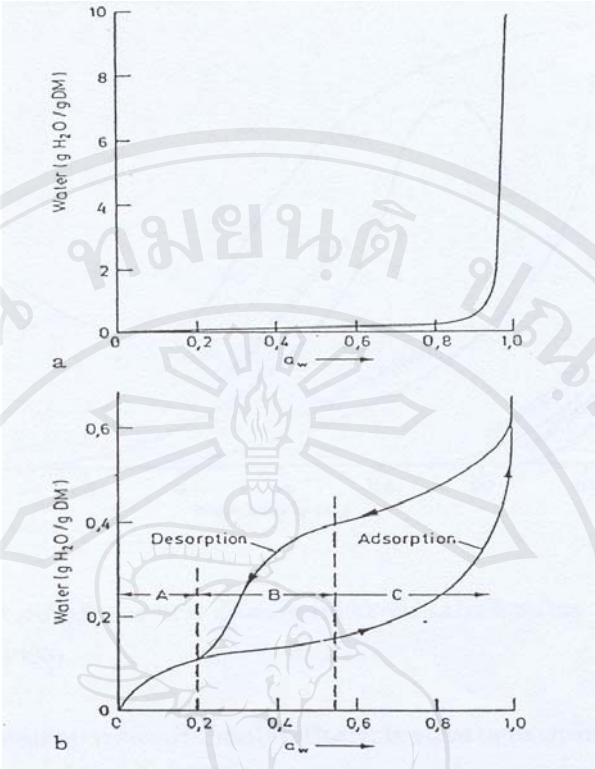
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity; Aw) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นน้ำที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลทางเคมีของอาหาร (Bound water) และยังเป็นอิสระ (Free water) อยู่ในอาหาร ถ้ามีมากจะทำให้อาหารเก็บไว้ได้ไม่นาน หรือเรียกว่าอายุการเก็บรักษา (Shelf-life) สั้น การหาความชื้นในอาหารหาได้จากการนำอาหารไปอบแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนักของแข็งที่เหลือ ทำให้ทราบความชื้นหรือปริมาณน้ำที่หายไป แล้วคำนวณออกมาเป็นร้อยละความชื้นหรือร้อยละน้ำที่อยู่ในอาหารนั้น อย่างไรก็ตามถ้าความชื้นของอาหารน้อยกว่าร้อยละ 50 หรือในอาหารแห้งโดยทั่วไปควรหาค่าวอเตอร์แอคติวิตี้หรือ Aw จะทำให้เห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของอาหารได้ชัดเจนกว่า เพราะถ้าค่าความชื้นในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยก็จะเห็นความแตกต่างของค่า Aw ได้ทันที ดังแสดงในภาพ 2.1a แสดงถึงความสัมพันธ์ของการหาค่าความชื้นกับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในอาหารที่มีน้ำมาก คือมีน้ำ 0 กรัมต่อน้ำหนักแห้งอาหาร 1 กรัม จนถึงอาหารที่มีน้ำ 10 กรัมต่อน้ำหนักแห้งอาหาร 1 กรัม สำหรับภาพ 2.1b เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของอาหารที่มีความชื้นน้อย คือมีน้ำ 0 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม จนถึงอาหารที่มีน้ำ 0.6 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ในภาพ 2.1a พบว่าตัวอย่างอาหารที่มีปริมาณน้ำมากตั้งแต่ 0.5 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ขึ้นไปจึงจะเห็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอาหารได้ชัดเจน และที่ปริมาณน้ำต่ำกว่า 0.5 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะสามารถอธิบายได้ด้วยค่า Aw ได้ดีกว่า ส่วนในภาพ 2.1b สำหรับอาหารที่มีความชื้นน้อย เมื่อมีความชื้นในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย จะเห็นค่าความแตกต่างของค่า Aw ได้อย่างชัดเจน เพราะเส้นกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในอาหารกับความสัมพันธ์ของค่า Aw ซึ่งจะขยายไปตามแนวแกนของค่า Aw มากขึ้น

อาหารที่มีปริมาณวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์จึงลดการเกิดสีน้ำตาลและลดการเหม็นหืน ดังนั้นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำจึงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้สูง อาหารที่สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุดคือ มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ในช่วง 0.2-0.4 ดังภาพ 2.2

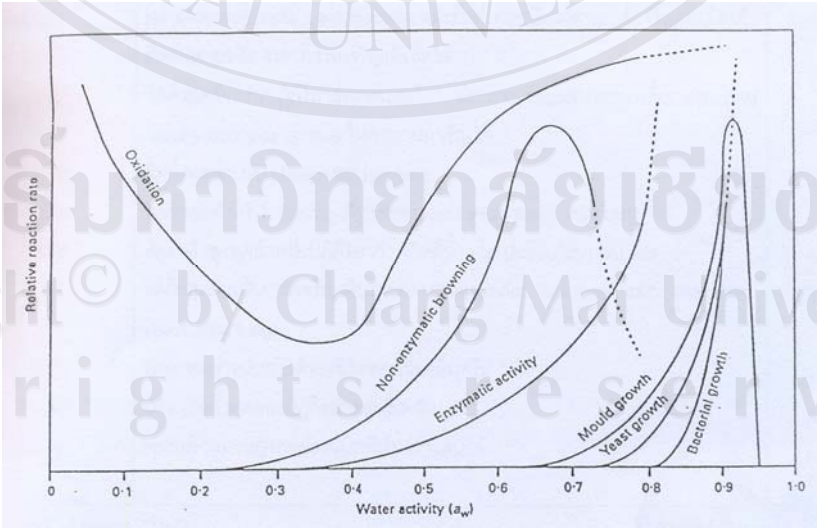
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.1 การดูดและคายน้ำของอาหาร (moisture isotherm)

ภาพ a. เป็นกราฟของอาหารที่มีความชื้นสูง ภาพ b. เป็นกราฟของอาหารที่มีความชื้นต่ำ

ที่มา : ไพโรจน์และคณะ, 2544



ภาพ 2.2 อายุการเก็บรักษาอาหาร เป็นผลจากค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในอาหารนั้น

ที่มา : ไพโรจน์และคณะ, 2544

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตาม สามารถลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารเพื่อทำให้อาหารเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยการเติมสารที่ดูดน้ำได้ดี (Humectants) ลงในอาหารนั้น ซึ่งได้แก่ เกลือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และแซคคาโรส เป็นสารที่มีแนวโน้มจะใช้เป็นสารดูดน้ำได้ แต่สารบางชนิดมีรสหวานหรือเค็ม การใช้สารเหล่านี้จำนวนมากพอเพื่อดูดน้ำและควบคุมค่าน้ำที่เป็นประโยชน์อาจทำให้รสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลงได้

ตาราง 2.3 ระดับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และความสำคัญ

Aw	ความสำคัญ
1.00	
0.95	*Pseudomonas, Bacillus, Clostridium perfringens* และยีสต์บางชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้
0.90	ขีดต่ำสุดสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั่วๆไป *Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, Lactobacillus* และยีสต์บางชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้
0.85	ยีสต์หลายชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้
0.80	ขีดต่ำสุดสำหรับปฏิกิริยาของเอนไซม์ และการเจริญเติบโตของเชื้อราส่วนใหญ่ *Staphylococcus aureus* ไม่สามารถเจริญได้
0.75	ขีดต่ำสุดสำหรับ Halophillic bacteria
0.70	ขีดต่ำสุดสำหรับการเจริญเติบโตของ Xerophillic fungi ส่วนใหญ่
0.65	อัตราเร็วสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Maillard reaction)
0.60	ขีดต่ำสุดสำหรับการเจริญเติบโตของ Osmophillic bacteria และ Xerophillic yeast และ Fungi
0.55	ขีดต่ำสุดสำหรับการดำรงชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์
0.40	อัตราเร็วต่ำสุดของปฏิกิริยาออกซิเดชัน
0.25	ความต้านทานสูงสุดของแบคทีเรียสร้างสปอร์

ที่มา : ไพโรจน์และคณะ, 2544

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 การอบแห้ง

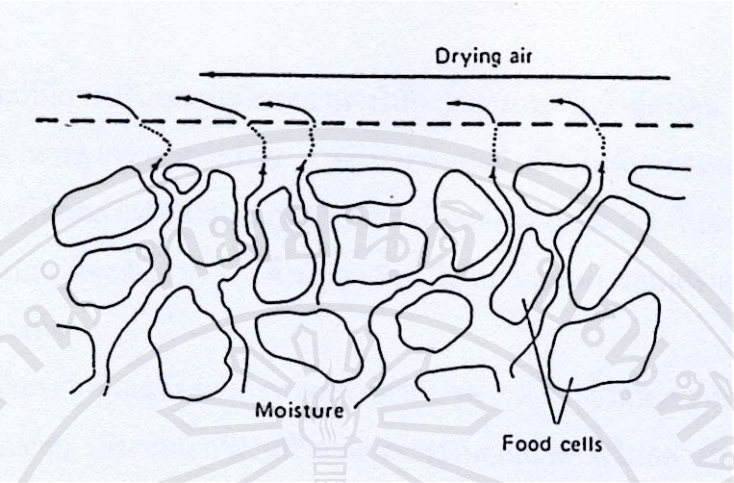
การอบแห้ง เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารระดับหนึ่ง เพื่อไล่เอาน้ำออกจากอาหารให้เหลืออยู่ปริมาณน้อยที่สุด การอบแห้งทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด (sun drying) การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar drying) ตู้อบแห้งแบบใช้ลมร้อน (hot air drier) ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum shelf drier) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying หรือ sublimation) และการอบ (baking) เป็นต้น ซึ่งอาหารแห้งที่ได้จะมีปริมาณน้ำหรือความชื้นประมาณ 2-3% ทำให้ลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในอาหารให้น้อยลงด้วย จึงทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น เพราะเมื่ออาหารมีน้ำลดลงจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ได้ นอกจากนี้การอบแห้งยังช่วยลดน้ำหนัก ทำให้ลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง อาหารอบแห้งบางชนิดยังสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งวิธีการอบแห้งจึงเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา อย่างไรก็ตาม การอบแห้งทำให้สูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการ

2.5.1 กลไกการอบแห้ง

เมื่ออากาศร้อนถูกเป่าลงบนชิ้นอาหารที่เปียกชื้น ความร้อนจะถ่ายเทไปที่ผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ (latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ และแพร่กระจายผ่าน boundary film ของอากาศ และพาไอน้ำระเหยออกไปโดยมีอากาศแห้งเข้ามาแทนที่ ดังภาพ 2.3 ทำให้บริเวณที่ผิวนอกของอาหารจะมีความดันไอของไอน้ำลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอของน้ำระห่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในชิ้นอาหาร จึงเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในจะเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวนอกของอาหารได้ด้วยกลไกดังนี้

1. เคลื่อนที่โดย capillary force
2. เคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายของน้ำ เนื่องจากตัวถูกละลายมีความเข้มข้นแตกต่างกันที่บริเวณต่างๆกันในชิ้นอาหาร
3. น้ำจะถูกดูดซับด้วยชั้นของตัวถูกละลายออกมาอยู่ที่ผิวนอกของอาหาร
4. ไอน้ำที่ระเหยออกไปในอากาศจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง

ที่มา : นิธิยา, 2544

2.5.2 กราฟอัตราการอบแห้ง

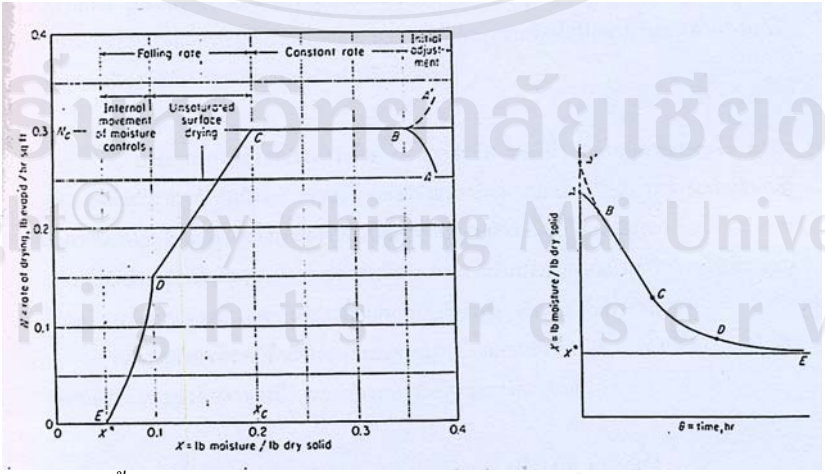
กราฟอัตราการอบแห้ง (Drying Rate Curve) เป็นกราฟที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้ง ดังภาพ 2.4 ซึ่งสามารถใช้หาเวลาในการอบแห้งที่สภาวะเดียวกันได้ อย่างไรก็ตามเมื่อสร้างกราฟระหว่างอัตราการอบแห้ง (lb moisture evaporated / hr ft^2) กับปริมาณความชื้นจะได้กราฟที่แสดงกระบวนการอบแห้งที่ดีกว่า ซึ่งจากภาพ 2.4 พบว่า สามารถแบ่งอัตราการอบแห้งได้เป็นสองช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant-rate period) และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-rate period) ซึ่งเริ่มต้นการอบแห้งอาหารมีปริมาณน้ำมาก ที่ผิวของอาหารและมีชั้นน้ำอิสระบางๆ ปกคลุมอยู่ อัตราการอบแห้งเริ่มต้นในผลิตภัณฑ์อาหารเกิดจากโมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่หรือระเหยจากผิวหน้าสู่อากาศร้อนที่เป็นตัวกลาง ในขั้นแรกนี้ปริมาณน้ำที่ผิวหน้าจะคงที่ตลอด เพราะน้ำที่อยู่ภายในอาหารเคลื่อนที่มาแทนที่น้ำที่ผิวหน้าที่ระเหยไปอย่างเพียงพอที่จะทำให้ปริมาณน้ำยังคงที่ตลอดเวลา อาจกล่าวได้ว่าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมาที่ผิวหน้าอาหารมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวหน้าอาหาร ช่วงนี้เรียกว่าช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ หรือ Constant-rate period หรือช่วง BC ดังภาพ และจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในมาสู่ผิวหน้าอาหารยังคงรวดเร็วเพียงพอต่อการระเหยที่เกิดต่อเนื่องตลอดเวลาจากการไหลอย่างคงที่ของอากาศร้อน เมื่อถึงจุดที่การเคลื่อนย้ายของน้ำภายในอาหารช้าลง เป็นการสิ้นสุดช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เนื่องจากความชื้นโดยเฉลี่ยของอาหารลดลงมีค่าเท่ากับ Xc อาหารที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นต่ำ เช่น พวกเมล็ดพืช จะมีระยะอัตราการอบแห้งคงที่สั้นมากหรือไม่มีเลย อย่างไรก็ตาม ในช่วงเริ่มต้นหรือช่วง AB ถ้าผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศร้อน อัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการปรับอุณหภูมิของอาหารให้สูงขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ในทางตรงข้ามหากอุณหภูมิของอาหารสูงกว่าอากาศร้อน อัตราการอบแห้งเมื่อเริ่มต้นจะลดลงในขณะที่มีการปรับอุณหภูมิของอาหารให้ลดลงเท่ากับอุณหภูมิอากาศ หรือแสดงดังภาพ 2.4 ในช่วง A'B แต่โดยปกติช่วงการปรับอุณหภูมิจะสั้นมาก จึงมักถูกตัดทิ้งไปในขั้นตอนการอบแห้งและไม่นำมาพิจารณาเวลาในการอบแห้ง

เมื่อความชื้นเฉลี่ยของอาหารมีค่าเท่ากับจุด Xc ซึ่งเป็นความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ปริมาณน้ำที่ผิวหน้าอาหารจะระเหยและลดลงไปอย่างมาก อัตราการอบแห้งช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการเคลื่อนย้ายของน้ำจากภายในมาที่ผิวอาหาร ช่วงนี้เรียกช่วงอัตราการอบแห้งลดลง หรือ Falling-rate period หรือช่วง CD รูปแบบของความชื้นของอาหารจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะการอบแห้ง ความชื้นจะมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางของชิ้นอาหารและต่ำสุดที่ผิวหน้าอาหารระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

เมื่อทำการอบแห้งต่อไปจะสามารถกำจัดน้ำอิสระที่อยู่ภายในอาหารจนหมด คือความชื้นลดลงจากจุด D ไปยังจุด E การระเหยจะเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นที่ผิวหน้าอาหารและภายในอาหาร และอัตราการกำจัดน้ำจะลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำลดลงไปอย่างมากจากการอบแห้ง และเมื่อถึงจุด E กระบวนการอบแห้งจะสิ้นสุดลง



ภาพ 2.4 การลดความชื้นของอาหารในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง
ที่มา : Treybal, 1980

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลไกของการถ่ายเทมวลภายในอาหารมีผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเกิดขึ้นได้หลายแบบ ดังนี้

1. Liquid diffusion ความชื้นที่ผิวหน้าลดลงต่ำกว่าความชื้นที่เหลืออยู่ภายในอาหาร จะทำให้เกิดแรงขับให้การเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ผิวหน้าอาหารโดยการแพร่ของน้ำ อัตราการแพร่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหาร อุณหภูมิ ความแตกต่างของความเข้มข้นภายในและผิวหน้าอาหาร

2. Vapor diffusion ระหว่างการอบแห้งอาจเกิดการระเหยใต้ผิวหน้าอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอบแห้งที่ใช้เวลานาน โมเลกุลของน้ำจะแพร่ผ่านอาหารออกมาสู่อากาศร้อน การแพร่ของไอนี้เกิดจากความแตกต่างของความดันไอของอาหารและความดันไอเหนืออาหาร

3. Capillary flow แรงตึงผิวมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำในโครงสร้างอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีรูพรุน น้ำอิสระจะเคลื่อนที่ผ่านคะปิลลารีหรือช่องว่างเล็กๆระหว่างของแข็งด้วยกลไกของแรงตึงผิว เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของน้ำมันในไส้ตะเกียง โดยคะปิลลารีจะเป็นรูเปิดที่เชื่อมระหว่างน้ำภายในอาหารและผิวหน้าอาหาร

4. Pressure flow ความแตกต่างระหว่างความดันของอากาศร้อนและโครงสร้างภายในอาหาร ทำให้เกิดการเคลื่อนของน้ำได้

5. Thermal flow ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวหน้าอาหารและภายในอาหารอาจจะมีความสำคัญต่อการอบแห้งอาหารในช่วงหลัง ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำมาสู่ผิวอาหาร

อย่างไรก็ตามระหว่างการอบแห้ง อาจเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำโดยหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งกลไก และรายละเอียดของกลไกต่างๆ อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ในระหว่างการอบแห้ง (Treybal, 1968)

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

การอบแห้งคือ การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยใดๆที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่ออัตราเร็วการอบแห้ง (สุคนธ์ชื่นและคณะ, 2546) ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักเช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อยจึงมีผลในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงด้วย

7. ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ

1. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณค่าอาหาร

การอบแห้งจะระเหยไล่ความชื้นหรือน้ำออกจากอาหารและเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีการอบแห้งจะทำให้คุณภาพของอาหารลดลง โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำ และถ้ามีการลวกหรือแช่สารเคมีก่อนการอบแห้งเพื่อหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ วิตามินจะลดลงอีกโดยเฉพาะอย่างยิ่งการอบแห้งโดยการตากแดด จะส่งผลให้วิตามินลดลงไปมากกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องมืออบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งโดยการตากแดดไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆระหว่างกระบวนการอบแห้ง เช่น ความชื้น อากาศ แสงแดด อุณหภูมิ ส่วนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวได้

2. การอบแห้งที่มีต่อโปรตีน

โปรตีนในอาหารจะสูญเสียคุณค่าไปมากน้อยเพียงไรนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการอบอาหารให้แห้งถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิสูงโปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อทำให้อาหารแห้งจะสามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้มากกว่า แต่ขึ้นกับชนิดของโปรตีนด้วย

3. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคาร์โบไฮเดรต

การทำให้อาหารแห้งมีผลต่ออาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากเกิดปัญหาเรื่องการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้ตากแห้ง ซึ่งเกิดจาก Non-enzymatic browning หรือ Maillard Reaction ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากปฏิกิริยาของกรดอะมิโนในอาหารกับน้ำตาลรีดิวซิ่ง (reducing sugar) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาล ซึ่งป้องกันโดยใช้สารเคมี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ การรมควันจะสามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารได้ในอาหารที่มีความชื้นต่ำมากๆ แต่อาหารแห้งจะเกิดสีน้ำตาลถ้าอาหารนั้นมีความชื้นประมาณ 30%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ผลของการอบแห้งต่อปริมาณไขมัน

ถ้าใช้อุณหภูมิการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเกิดการเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำหรือใช้สารเคมีบางชนิดป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้สารกันหืน เช่น BHA (Butylated hydroxyl acetone)

5. ผลของการอบแห้งต่อเอนไซม์

เอนไซม์จะหยุดกิจกรรมเมื่อใช้ความร้อนชื้นอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในกระบวนการอบแห้ง (Dehydration) หรือ Drying ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะทนทานถึง 204 องศาเซลเซียส ดังนั้นในกระบวนการอบแห้ง จึงต้องลวกน้ำร้อนก่อนหรือใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ นอกจากนี้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของอาหาร ถ้าความชื้นในอาหารลดลงปฏิกิริยาก็ลดลงด้วย แต่อัตราเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์และอาหาร ถ้าความชื้นลดต่ำกว่าร้อยละ 1 ปฏิกิริยาของเอนไซม์ก็จะไม่เกิดขึ้น

6. ผลของการอบแห้งต่อเม็ดสีในอาหาร

อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป สีของอาหารจะเปลี่ยนไป เม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโธไซยานินจะซีดจางลงถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน หรือใช้สารอาหารบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถันจะทำให้สีของอาหารจาง ดังนั้นพวกผักและผลไม้จึงมีการตรึง (fix) สีเสียก่อนอบแห้งโดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อน จะไม่ทำให้ผักผลไม้มีสีจางลงหรือมีสีน้ำตาล แต่อาหารจะแข็งกระด้างขึ้น การอบแห้งยังสามารถเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ หรือ Maillard Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางอินทรีย์สาร เกิดจากกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซิ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลและทำให้กลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. ผลของการอบแห้งต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

การจัดการเบื้องต้น เช่น การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำลวก การลดขนาดและการปอกเปลือก ล้วนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้อบแห้ง โดยอาหารที่ผ่านการลวก

อาจเกิดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากการเกิดเจลของแป้ง การตกผลึกของเซลลูโลส การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งส่วนต่างๆของอาหาร ทำให้อาหารมีลักษณะเหี่ยวย่น และเมื่อนำอาหารแห้งมาคืนรูป อาหารจะดูดคืนความชื้นอีกครั้งหนึ่งในระหว่างการดูดคืนน้ำอย่างช้าๆ ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แน่นเหมือนวัตถุดิบเดิม

อุณหภูมิและอัตราการอบแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารมากโดยทั่วไปการอบแห้งโดยรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ตัวละลายจะเคลื่อนที่จากภายในของอาหารไปที่ผิวมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิและอัตราการอบแห้งที่ต่ำกว่า การระเหยน้ำทำให้ตัวทำละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของอากาศทำให้อาหารโดยเฉพาะผักและผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าของอาหาร และทำให้ผิวอาหารแห้งแข็งแต่ภายในชื้น หรือที่เรียกว่า Case hardening การควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในและที่ผิวของอาหารจะช่วยลดเหตุการณ์ดังกล่าวได้

8. ผลของการอบแห้งต่อกลิ่นและรส

ความร้อนนอกจากจะทำให้น้ำระเหยแล้ว ยังทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไอ และความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารระเหย สารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหยและการแทนที่สูงจะเกิดการสูญเสียในช่วงแรกของการอบแห้ง มีสารระเหยปริมาณน้อยที่เกิดการสูญเสียช่วงหลังของการอบแห้ง การควบคุมสภาวะการอบแห้งในแต่ละขั้นตอนจะช่วยลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด อาหารให้กลิ่นรสที่มีมูลค่าสูง เช่น สมุนไพร และเครื่องเทศ ควรใช้อุณหภูมิในการกำจัดน้ำต่ำ นอกจากนี้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุ วิตามิน และไขมันในอาหารระหว่างการเก็บรักษาก็เป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียกลิ่น และอาหารแห้งที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นรูพรุนจะทำให้มีก๊าซออกซิเจนแทรกอยู่มากด้วย อุณหภูมิในการเก็บรักษาและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จะเป็นตัวกำหนดอัตราการเสื่อมเสียของอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

9. ผลของการอบแห้งต่อการคืนรูป

การคืนรูป การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวละลายและการสูญเสียสารระเหยไม่สามารถเกิดแบบย้อนกลับไปมาเหมือนเดิมได้ ความร้อนลดความสามารถในการคืนรูปของแป้งและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและความสามารถของการคืนรูปอาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ อาหารที่อบแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะเกิดความเสียหาย และสามารถคืนรูปได้ดีกว่าอาหารที่อบแห้งในสภาวะที่ไม่เหมาะสม

10. ผลของการอบแห้งต่อจุลินทรีย์

โดยทั่วไปแล้วการอบแห้งไม่มีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ และการเสียของอาหารแห้งมักมีจุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญ เนื่องจากแบคทีเรียต้องการปริมาณค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ หรือ Aw มากกว่า 0.90 ดังนั้นแบคทีเรียจึงไม่มีบทบาทในการเสียของอาหารแห้ง ยีสต์และราเท่านั้นที่มีบทบาทสำคัญต่อการเสียของอาหารแห้ง อาหารที่มี Aw 0.80-0.85 จะเสียภายใน 1-2 อาทิตย์ โดยมีราเป็นสาเหตุ ถ้าอาหารมี Aw ต่ำกว่า 0.75 การเสียจะเกิดช้า และมีจุลินทรีย์เพียงไม่กี่ชนิดที่ขึ้นได้ ถ้าอาหารมี Aw 0.70 การเสียจะเกิดช้ามาก และหากอาหารมี Aw 0.65 การเสียแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย และสามารถเก็บอาหารนี้ได้นานมากกว่า 2 ปี ดังนั้นถ้าต้องการเก็บอาหารแห้งไว้นานๆ ควรทำแห้งอาหารจนมี Aw อยู่ระหว่าง 0.65-0.70

2.6 เครื่องอบลมร้อนแบบถาด

เป็นเครื่องอบแห้งแบบชั้นมีลักษณะเป็นตู้สูง ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในอาจวางถาดได้หลายชั้น มีส่วนประกอบดังนี้

1. ตู้เหล็กฉนวนทรงสูง รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในวางถาดอาหารที่จะอบแห้งได้ 5-8 ชั้น (ในอุตสาหกรรมอาจใช้ตู้ใหญ่มีจำนวนชั้นเป็นสิบๆชั้น)

2. ถาดที่ใช้วางอาหารควรทำด้วยสแตนเลส

3. มอเตอร์ (เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนลมร้อน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ขดลวดร้อนที่ให้ความร้อนสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส (อาจใช้ไอน้ำหรือแก๊สเป็นแหล่งของความร้อนก็ได้)

5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในตู้

2.6.1 ระบบการทำงาน

เครื่องอบลมร้อนแบบถาด เป็นเครื่องมืออบแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำงานที่บรรยากาศปกติลักษณะของเครื่องมือจะเป็นตู้บุฉนวน มีถาดสำหรับใส่อาหารเรียงเป็นชั้นอยู่ภายในลมร้อนจะถูกบังคับให้หมุนเวียนโดยพัดลม การหมุนเวียนของอากาศจะเป็นแนวนอนขนานกับถาดใส่อาหารหรือในแนวดิ่งผ่านทะลุถาดใส่อาหาร ความเร็วของลมร้อนที่นิยมใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวนอนคือ 2-5 เมตรต่อวินาที ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งนิยมใช้ปริมาณอากาศร้อน 0.5-1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตรของพื้นที่หน้าตัดของถาด แหล่งความร้อนที่ใช้อาจเป็นการเผาไม้ของก๊าซ ไอน้ำ หรือจากขดลวดให้ความร้อน

เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นการอบที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับพาความชื้นออกจากวัตถุดิบค่อนข้างสูง ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่จะอบ ดังนั้นวัตถุดิบควรเป็นประเภทที่ไม่ไวต่อความร้อนและเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาไม่แพง เพื่อการเพิ่มมูลค่าการตลาด สำหรับข้อดีของตู้อบแห้งแบบถาดคือ เสียค่าใช้จ่ายในการสร้างและการบำรุงรักษาต่ำและมีความยืดหยุ่นของการใช้งานสูง และนิยมใช้ในการอบแห้งผักและผลไม้ นอกจากนั้นยังนิยมใช้ในกระบวนการผลิตขนาดเล็กหรือในโรงงานขนาดเล็ก แต่เนื่องจากเป็นวิธีดั้งเดิมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการให้ความร้อนสูงและใช้เวลานาน จึงทำให้เกิดข้อเสียต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการเสียไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเครื่องอบแห้งที่ได้มีการพัฒนาโดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบตู้ โดยการใช้แสงแดดเป็นพลังงานความร้อนให้กับเครื่องอบ ซึ่งมีความเหมาะสมกับประเทศไทย ทำให้ไม่เสียต้นทุนด้านพลังงาน

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้อบแห้งซึ่งใส่ตัวอย่างที่ต้องการอบแห้ง และส่วนที่เป็นตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เพื่อทำให้อากาศร้อน ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นความร้อน เพื่อนำมาใช้อุ่นอากาศก่อนที่จะไหลเข้าห้องอบแห้ง นอกจากนี้ยังอาจมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แหล่งความร้อนเสริม และพัดลม เป็นต้น

แผงรับแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์รับความร้อนจากแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นแผ่นแบนราบ (Flat plate collector) ทำหน้าที่เป็นตัวดูดพลังงาน (Absorber plate) โดยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนให้กับอากาศ และเพื่อประสิทธิภาพในการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์จึงทาแผ่นดูดพลังงานด้วยสีดำด้าน ซึ่งทำให้มีค่าการดูดรังสีสูงที่ความยาวคลื่นของรังสีต่ำ แต่ให้การส่งออก (Emissivity) ต่ำที่ความยาวคลื่นของรังสีสูง และมีแผ่นปิดกั้นด้านบน (top cover) เป็นพลาสติกใส เพื่อช่วยป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และเพื่อให้ความร้อนกระจายภายในทั่วถึง

พลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ เป็นส่วนที่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาในโลกได้ประมาณร้อยละ 70 ซึ่งถูกดูดซับโดยแผงความร้อน ดังตารางที่ 2.4

ตาราง 2.4 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนและดูดซับ

การสะท้อนกระจายและดูดซับ	ร้อยละ
พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับ	**100**
คลื่นสั้นที่รับแล้วสะท้อนกลับสู่อวกาศทันที (อัลเบโด)	30
คลื่นยาวที่ถูกดูดเก็บโดยบรรยากาศใกล้ผิวโลก	20
แสงส่วนที่ตกมาถึงผิวโลก	50
พลังงานที่ระบายออกสู่บรรยากาศ	**100**
คลื่นสั้นที่ถูกสะท้อนกลับโดยทันที	30
คลื่นยาวที่โลกแผ่รังสีกลับออกไป	70

ที่มา : วิจิตร, 2524

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.1 ประเภทเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ (Force convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้จะใช้พัดลมเป็นตัวขับอากาศให้ไหลภายในเครื่องอบแห้ง เนื่องจากเป็นการสร้างความดันให้เท่ากับความแตกต่างของความดันรวมระหว่างที่ทางเข้าและทางออก เหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กและใหญ่ ลงทุนมากและสร้างยากกว่า แต่สามารถออกแบบให้การทำงานมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างมาก ถ้าต้องมีการอบแห้งจำนวนมากๆ ควรมีพัดลมช่วยในการขับอากาศ ทำให้การหมุนเวียนอากาศเป็นไปด้วยดี ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ใช้พัดลม หรือ Free convection dryer

2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ (Free convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้อาศัยหลักการการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งและอากาศภายนอก ซึ่งมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้น ซึ่งเหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กที่ต้องการการลงทุนต่ำ สร้างง่าย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่าต่ำ เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศขึ้นกับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

ลักษณะการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct mode solar dryer)

เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะใช้วัสดุใสทำเป็นหลังคา รังสีดวงอาทิตย์จะทะลุผ่านไปยังวัสดุโดยตรง การระเหยน้ำออกจากตัววัสดุเกิดขึ้นเพราะความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกล่อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Indirect mode solar dryer)

เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วย ตัวทำความร้อนด้วยรังสีดวงอาทิตย์ (Solar air heater) พัดลม (Fan) หรือโบลว์เวอร์ (Blower) และห้องอบแห้ง (Drying chamber) รังสีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนโดยตัวทำอากาศร้อนก่อนแล้วจึงส่งไปยังวัสดุ โดยมีอากาศเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังเก็บ

3. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม (Mixed mode solar dryer)

เครื่องอบแห้งประเภทนี้เกิดจากการพัฒนาเอาสองแบบแรกมารวมกัน วัสดุจะได้รับความร้อนสองส่วน คือ ได้รับความร้อนจากการถูกแสงแดดโดยตรง และได้จากอากาศร้อนที่มาจากตัวทำอากาศร้อน เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

2.7.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar tunnel dryer) ที่พัฒนาโดย Institute for Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropics, มหาวิทยาลัย Hohenheim, ประเทศเยอรมัน

เป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม คือ สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม ผลิตเพื่อใช้ในครัวเรือน พลังงานที่ใช้เป็นการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมขนาด 70 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 1,400 รอบต่อนาที อัตราการไหลโดยมวลของอากาศอยู่ในช่วง 0-1,360 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความยาวของเครื่องเท่ากับ 18 เมตร และมีความกว้าง 2 เมตร เหมาะกับพื้นที่เขตร้อนและร้อนชื้นที่ห่างไกลไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้ารูปแบบอื่นที่ต้องการเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมเท่านั้น แต่เครื่องนี้ออกแบบให้ใช้พลังงานจากแผง Solar cell จึงไม่ต้องการพลังงานที่สิ้นเปลืองรูปแบบอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดจะลดเวลาการอบแห้งได้ถึงร้อยละ 50 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าทั้งทางด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษานานกว่า (Schirme r *et al*., 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นหลังคาพลาสติคลุมส่วนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และส่วนอุโมงค์อบแห้ง อากาศเย็นจะถูกดูดเข้าเครื่องโดยพัดลมผ่านส่วนสะสมความร้อนหรือ Heating area จากนั้นส่งต่อไปยังอุโมงค์อบแห้งหรือ Drying area การไหลของอากาศร้อนจะผ่านชิ้นตัวอย่างอาหารทั้งด้านบนและด้านล่าง จากนั้นอากาศชื้นจะออกทางด้านปลายเครื่อง

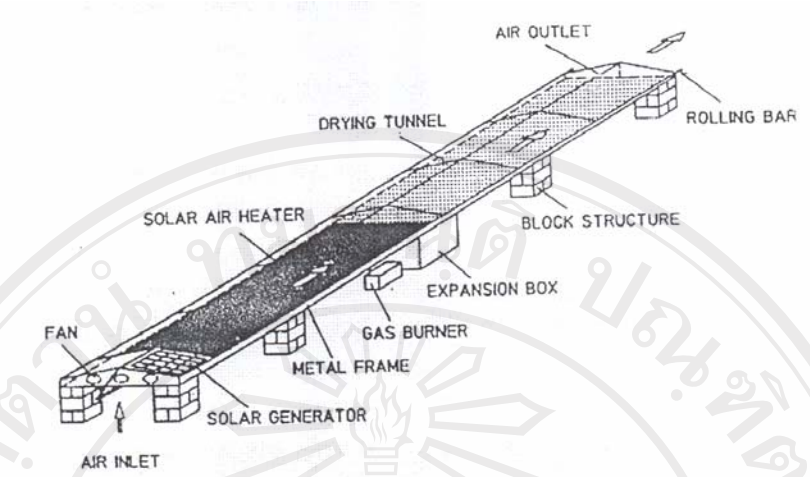
Heating area ส่วนพื้นที่ที่ทาสีดำ คลุมด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีน ความหนา 0.2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 14 ตารางเมตร

Drying area ปูด้วยตาข่ายเพื่อให้อากาศไหลผ่านด้านล่างของตัวอย่าง คลุมด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีน ความหนา 0.2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 14 ตารางเมตร (Schirmer *et al.,* 1995)

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ มีส่วนประกอบดังนี้

1. Fan คือ พัดลมดูดอากาศเข้าสู่เครื่องอบแห้งมี 3 ตัว
2. Air inlet คือ ช่องที่อากาศถูกดูดเข้าเครื่องโดยพัดลมดูดอากาศ
3. Solar generator คือ แผง solar cell ที่ให้พลังงานขับเคลื่อนแก่พัดลม
4. Metal frame คือ โครงโลหะ
5. Gas burner คือ ส่วนของพลังงานเสริมจากก๊าซกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ
6. Solar air heater คือ ส่วนที่ทาสีดำใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์และให้ความร้อนแก่อากาศที่ผ่านไปยังอุโมงค์อบแห้ง
7. Drying tunnel หรือ Drying area คือ ส่วนอุโมงค์อบแห้ง ใช้วางอาหารที่ต้องการอบแห้ง
8. Air outlet คือ ทางออกของอากาศชื้น
9. Rolling bar คือ ไม้หมุนโลหะ ใช้เปิดปิดส่วนอุโมงค์อบแห้ง โดยการหมุนแผ่นพลาสติกที่คลุมเครื่องขึ้นลง
10. Block structure คือ ส่วนฐานที่ก่อด้วยอิฐ ใช้วางเครื่องเหนือพื้นดินเพื่อป้องกันการนำความร้อนจากเครื่องไปสู่พื้นดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.5 Solar tunnel dryer
ที่มา : Schirmer *et al.,* 1995

2.8 คลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงและความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 75 เซนติเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นระหว่าง 300 เมกะเฮิร์ซ (megahertz ; MHz) ถึง 300 จิกะเฮิร์ซ (gigahertz ; GHz หรือ cycles/sec) ความถี่ช่วงคลื่นดังกล่าวใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุและบางส่วนจะเข้าไปคาบเกี่ยวกับในคลื่นความถี่ของเรดาร์ คลื่นไมโครเวฟมีลักษณะเหมือนลำแสงเดินทางเป็นเส้นตรงเมื่อกระทบโลหะจะสะท้อนกลับมา แต่สามารถทะลุอากาศ แก้ว กระดาษและพลาสติกได้ ถูกดูดซับไว้ได้ดีในสารประกอบที่มีสมบัติเป็นไดอิเล็กทริก (dielectric) เมื่อคลื่นไมโครเวฟสะท้อนกลับมาจะไม่ก่อให้เกิดความร้อนกับวัสดุนั้น แต่ถ้าสารใดสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟไว้ได้จะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นภายในสารนั้น โดยเปลี่ยนรูปจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน สารใดที่ดูดซับพลังงานไมโครเวฟไว้ได้สูงจะเรียกสารนั้นว่ามี lossy หรือ lossiness สูง ซึ่งสารประเภทนี้จะทำให้ร้อนได้รวดเร็วเมื่อกระทบคลื่นไมโครเวฟ (สายสนมและคณะ, 2546)

2.8.1 สมบัติไดอิเล็กทริกของอาหาร

องค์ประกอบของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อาหารแทบทุกชนิดมีสมบัติเป็นไดอิเล็กทริกแต่จะดูดซับไมโครเวฟได้แตกต่างกันไปขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้ คือ องค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางเคมีของอาหาร พบว่า ปริมาณน้ำและเกลือแร่รวมถึงรูปแบบของน้ำที่เป็นส่วนประกอบในอาหารนั้นจะมีความสำคัญต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในรูปอิสระ (free water) จะทำให้ดูดซับไมโครเวฟได้ดีกว่าน้ำที่เกาะอยู่กับสารประกอบอื่น เช่น โปรตีน หรือคาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับเกลือแร่ ถ้าอยู่ในรูปที่แตกตัว (dissociated) จะทำให้อาหารนั้นดูดซับไมโครเวฟได้ดีกว่าเกลือแร่ที่อยู่ในรูปรวมตัวกับสารอื่น (associated) ส่วนปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดซับไมโครเวฟ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของอาหาร อุณหภูมิของอาหารและระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ สำหรับอาหารแห้ง อาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงจะดูดซับไมโครเวฟได้ต่ำ และจะไม่มีผลต่ออุณหภูมิของอาหารรวมทั้งความถี่ของคลื่นไมโครเวฟด้วย สมบัติไดอิเล็กทริกของอาหารต่างๆ สามารถแสดงเป็นค่าตัวเลขที่มีความเกี่ยวข้องกับค่าต่างๆ อยู่ 3 ค่า คือ

1. ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant, ε')

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant, ε') คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารประกอบที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้ เมื่อนำสารประกอบนั้นไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ สารใดที่มีค่าสูงจะสามารถกักเก็บพลังงานได้สูง ค่านี้จะเปลี่ยนไปได้ตามอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นของอาหารนั้นๆ (สายสนมและคณะ, 2546) จำนวนขั้วและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยสนามไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดค่า ε' ของอาหาร ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุไฟฟ้าของอาหารต่อความจุไฟฟ้าของอากาศ ซึ่งบางครั้งอาจเป็นสุญญากาศ นอกจากนี้ค่าความหนืดของอาหารและอุณหภูมิมีผลต่อค่านี้เช่นกัน เช่น เมื่อน้ำเปลี่ยนเป็นน้ำแข็ง ค่า ε' จะลดลงและลดลงอีกเมื่อน้ำแข็งถูกทำให้เย็นลงอีก คลื่นไมโครเวฟจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านน้ำแข็งได้ดีกว่าน้ำ อาหารแช่เยือกแข็งที่มีความชื้นสูงจึงดูดซับพลังงานได้มากกว่าตอนที่ละลายแล้ว ความถี่ของคลื่นที่ 915 และ 2,450 เมกะเฮิร์ต จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่างๆของโครงสร้างโมเลกุลที่เกิดจากการเรียงตัวใหม่ของขั้วไฟฟ้า จะให้พลังงานในรูปของความร้อนและมีผลต่อค่า ε' และ ε" (วิไล, 2543) คุณสมบัติด้านไดอิเล็กทริกของอาหารบางชนิดแสดงดังตาราง 2.5

2. แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric Loss Factor, ε")

แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric Loss Factor, ε") คือ ค่าของพลังงานที่สูญเสียไปหรือที่แพร่กระจายไปในสารไดอิเล็กทริก เมื่อนำไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งพลังงานไฟฟ้าจะสูญเสียไปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในชิ้นอาหารนั้นๆ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนขึ้นสูง แต่พลังงานก็จะถูกดูดซับไปอย่างรวดเร็วเมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารนั้นเพียงระยะสั้นๆ แล้วความร้อนนั้นจะลดลงโดยกระบวนการนำและการพาความร้อนเข้าสู่ภายในชิ้นอาหารด้วย ดังนั้นถ้าอาหารที่มีความหนาและขนาดใหญ่มากๆ การดูดซับไมโครเวฟจะเกิดได้เฉพาะผิวหน้าและความร้อนจะเข้าสู่ชิ้นอาหารได้ทั่วถึงก็จะเป็นไปด้วยการนำหรือการพาซึ่งต้องใช้เวลานานกว่าอาหารที่มีขนาดเล็กและบาง (สายสนมและคณะ, 2546) ไมโครเวฟเดินทางเป็นเส้นตรงเหมือนแสง ถูกสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับโลหะ เคลื่อนที่ผ่านอากาศ สามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว พลาสติก กระดาษ หรือไม้หรือถูกดูดซับในส่วนประกอบของอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ถ้าคลื่นไมโครเวฟถูกสะท้อนกลับหมดหรือทะลุผ่านวัตถุได้โดยไม่มีการดูดซับ วัตถุหรืออาหารนั้นจะไม่ร้อน อาหารจะร้อนขึ้นเมื่อมีการดูดซับพลังงานไว้ ในการให้ความร้อนแก่อาหารจะทำให้คลื่นสูญเสียพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าไปเรียกว่า loss factor ซึ่งเป็นตัวชี้บอกการสูญเสียพลังงานไมโครเวฟในการเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในอากาศหรือบอกว่าคลื่นถูกดูดซับไว้ทั้งหมด ค่า ε" ของอาหาร ความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกำหนดความลึกของการแทรกผ่านโดยคลื่นไมโครเวฟ ทั้งนี้เนื่องจากไมโครเวฟสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนขณะที่แทรกเข้าไปในอาหาร ยิ่งค่า ε" ของอาหารสูง จะเกิดความร้อนมากขึ้นด้วย หมายความว่า คลื่นจะแทรกเข้าไปในอาหารได้สั้นลงก่อนที่พลังงานทั้งหมดจะถูกใช้ไป ถ้าต้องการให้คลื่นแทรกเข้าไปในอาหารได้ลึกๆ ก็ควรเลือกคลื่นความถี่ที่มีค่า ε" ของอาหารต่ำ และพบว่าไมโครเวฟที่ความถี่ 900 เมกะเฮิร์ต จะเกิดการสูญเสียพลังงานมากกว่าที่คลื่นความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ต (วิไล, 2543) ค่า ε" ของอาหารแสดงดังตาราง 2.6

ตาราง 2.5 คุณสมบัติด้านไดอิเล็กทริกของอาหาร

อาหาร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถี่ (เมกะเฮิร์ต)	ค่า ε'	ค่า ε"
เนื้อหมู	25	915	59	26
		2,415	58	16
มันฝรั่ง	25	915	65	19
		2,415	64	14
แครอท	25	915	73	20
		2,415	72	15

ที่มา : วิไล, 2543

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.6 ค่า ε" ของอาหารที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ 2,450 เมกะเฮิร์ต

วัตถุดิบ	ค่า ε"
น้ำกลั่น (25 องศาเซลเซียส)	12
น้ำผสม NaCl 0.5 นอร์มัล (25 องศาเซลเซียส)	32
น้ำแข็ง (-12 องศาเซลเซียส)	0.003
เนื้อวัวสุก (30 องศาเซลเซียส)	12
แฮมร้อน (20 องศาเซลเซียส)	23
มันฝรั่งดิบ (25 องศาเซลเซียส)	16
มันฝรั่งสุกบด (30 องศาเซลเซียส)	24

ที่มา : วิไล, 2543

3. ค่าลอสแทนเจน (Loss Tangent (tan δ) หรือ Dissipation Factor)

ค่าลอสแทนเจน (Loss Tangent (tan δ) หรือ Dissipation Factor) หมายถึงลักษณะของการสูญเสียพลังงานของสารนั้น ซึ่งคิดออกมาในรูปของมุมที่ต่างไปจาก 90 องศา ในสภาพปกติทั่วไปของกระแสไฟฟ้า (สายสนม, 2546) ค่านี้จะมีส่วนสัมพันธ์กับค่า ε' และ ε" คือ

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

เมื่อ $\tan \delta$ = loss tangent

ε' = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

ε'' = แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก

2.8.2 การเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ

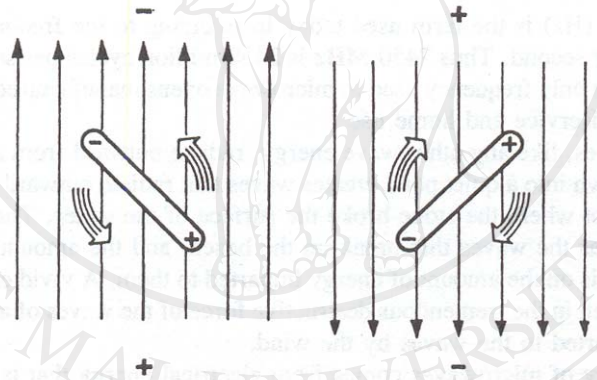
เมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับเข้าสู่ชิ้นอาหารจะเกิดความร้อนได้ในสองแบบร่วมกัน ได้แก่

1. Ionic Polarization เป็นการเกิดความร้อน เนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า แต่ละไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีกันขึ้นกับไอออนอื่นๆ และมีการเปลี่ยนพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อน แล้วจึงกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่นๆ ต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้เกิดได้ในของเหลวภายในเซลล์ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย

2. Dipole Rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบมีขั้ว (polar) ได้แก่ น้ำ ซึ่งในสภาพปกติสารประกอบนั้นจะเรียงตัวประจุบวกและลบอย่างไม่เป็นระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุบวกและประจุลบของสารนั้นจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบ การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟคือ 915–2,450 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้น การหมุนตัวของสารประกอบมีประจุเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟแสดงดังภาพ 2.6



ภาพ 2.6 การหมุนตัวของสารประกอบมีประจุเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟ
ที่มา : สายสนมและคณะ, 2546

ความร้อนที่เกิดจากทั้งสองรูปแบบดังกล่าวที่จุดซึ่งอาหารสัมผัสกับไมโครเวฟแล้วจึงค่อยกระจายตัวออกไปยังส่วนอื่นเนื่องจากผลของการเดือดของน้ำโดยการนำความร้อนด้วย และเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการเกิดความร้อนจากสาเหตุต่างๆ ดังกล่าวนี้ ทำให้เกิดได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธีการหุงต้มโดยความร้อนแบบดั้งเดิม

2.8.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอาหารโดยคลื่นไมโครเวฟ

ปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอาหารโดยคลื่นไมโครเวฟมี 11 ปัจจัย ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ค่าความถี่

ความถี่ที่ใช้ในระบบไมโครเวฟมีอยู่ 2 ความถี่ ได้แก่ 915 หรือ 2,450 เมกะเฮิร์ต ความถี่ใช้จะมีผลต่อระดับความลึกในการเจาะเข้าไปในเนื้ออาหารของระบบไมโครเวฟ เพื่อ ให้เกิดความร้อนอย่างทั่วถึง โดยปกติค่าความถี่ต่ำ (915 เมกะเฮิร์ต) จะสามารถให้ความร้อนได้ลึกกว่า นอกจากนี้ค่าความถี่ยังมีผลต่อสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนพลังงานของอาหารแต่ละชนิดด้วย ซึ่งจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของอาหาร

2. ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (กำลังไฟฟ้าของระบบไมโครเวฟ)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะอยู่ในช่วง 5-100 กิโลวัตต์ ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งการให้ความร้อนกับอาหาร ดังนั้นจึงนิยมปรับกำลังไฟฟ้าของระบบเพื่อควบคุมความเร็วในการทำให้อาหารร้อน อย่างไรก็ตามการเร่งความเร็วมากเกินไปอาจมีผลเสีย เช่น น้ำในอาหารไม่สามารถระบายออกได้ทันทำให้เกิดการเดือดขึ้นในเนื้ออาหาร และเมื่อมีปริมาณมากจนระเบิดออกมา ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ (วัชรินทร์, 2531)

3. ค่าความชื้นในอาหาร

น้ำเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการดูดซับพลังงาน ทำให้สามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ อาหารที่มีปริมาณความชื้นสูงจะดูดซึมพลังงานไมโครเวฟได้ดีกว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า ดังนั้นอาหารที่มีปริมาณความชื้นสูงจะร้อนได้เร็วกว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (วัชรินทร์, 2531)

4. ความหนาแน่นของอาหาร

โดยปกติอากาศเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ดังนั้นอาหารที่โปร่งหรือพองซึ่งมีอากาศแทรกอยู่มาก จะทำให้ร้อนช้า แต่สำหรับระบบไมโครเวฟอากาศไม่มีผลกระทบต่อการทำให้เนื้ออาหารร้อน ดังนั้นในการอบขนมปังด้วยไมโครเวฟจะใช้เวลาเพียง 1 ใน 3 ของเวลาในการอบด้วยเตาอบแบบลมร้อน (วัชรินทร์, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. อุณหภูมิของอาหาร

อุณหภูมิมีผลต่อระบบไมโครเวฟคือ ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงานอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่ชนิดของอาหาร เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในระหว่างการทำให้อาหารร้อน พบว่าน้ำแข็งในการแช่แข็งมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เนื่องจากความโปร่งในของน้ำแข็งทำให้การดูดซึมความร้อนไม่ดีพอ เพื่อง่ายต่อการควบคุมจึงนิยมละลายน้ำแข็งให้อุณหภูมิที่ได้ต่ำกว่าจุดหลอมละลายเท่านั้น ส่วนอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารควรทราบหรือถูกกำหนดไว้ เพื่อง่ายต่อการปรับกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสม สำหรับการระบุอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ (วัชรินทร์, 2531) พบว่า ถ้าอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารสูงอาหารจะสุกได้เร็วกว่าปกติหรือเร็วกว่าอาหารที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำกว่า

6. รูปทรงของอาหาร

ลักษณะรูปทรงของอาหารที่นำมาผ่านระบบไมโครเวฟมีความสำคัญคือ ถ้าขนาดของชิ้นอาหารนั้นใหญ่มากโดยเฉพาะความหนา จะทำให้คลื่นไมโครเวฟเข้าไม่ถึงจุดกึ่งกลาง ยังผลให้เกิดความร้อนไม่ทั่วทั้งชิ้นอาหาร ถ้าความหนาของชิ้นใกล้เคียงกับความสามารถของคลื่นไมโครเวฟที่จะทะลุผ่านได้ ทำให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางความหนาของชิ้นมีอุณหภูมิสูงที่สุด การเลือกขนาดความถี่ที่เหมาะสมจะช่วยได้ โดยถ้าเป็นอาหารที่มีลักษณะชิ้นหนาควรใช้ความถี่ 915 เมกะเฮิร์ต กำลังไฟฟ้าของระบบก็มีผลด้วย แต่ถ้าเป็นไปได้ควรเลือกขนาดของอาหารที่เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้ อาหารที่มีรูปร่างขนาดกว้างยาวเท่ากันทั้งชิ้น จะถูกทำให้ร้อนได้สม่ำเสมอกว่า ควรหลีกเลี่ยงรูปร่างที่มีขอบแหลมหรือมีมุม ซึ่งจะไหม้ได้ อาหารทรงกลมจะดีกว่าสี่เหลี่ยม ในกรณีที่อาหารมีรูปร่างไม่เท่ากันทั้งชิ้น เช่น น่องไก่ อาจช่วยได้บ้างโดยการลดกำลังไฟฟ้าและยืดเวลาการอบออกไป (วัชรินทร์, 2531)

7. ค่าการนำไฟฟ้า

ในการเกิดความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ เชื่อว่าเกิดจาก dipole rotation ของโมเลกุลในอาหาร ซึ่งสัมพันธ์กันกับค่าการนำไฟฟ้าของอาหารนั้นๆ ดังนั้นถ้าเราเพิ่มการนำไฟฟ้า เช่น การเติมเกลือให้กับอาหาร อาจช่วยเร่งการให้ความร้อนแก่อาหารนั้นได้ แต่ก็อาจมีผลต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการเจาะลึกเข้าในเนื้ออาหารของคลื่นไมโครเวฟ และทำให้การให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอได้

8. ค่าการนำความร้อน

ค่าการนำความร้อนจะมีผลกับอาหารชิ้นใหญ่ โดยที่คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถเจาะลึกพอที่จะทำให้จุดกึ่งกลางของอาหารร้อนสม่ำเสมอได้ หรือเมื่อต้องการใช้ระยะเวลาในการทำให้อาหารร้อนนาน ในกรณีที่ใช้เวลาน้อย ค่าการนำความร้อนจะไม่ค่อยมีผลมากนัก (วัชรินทร์, 2531)

9. ค่าความร้อนจำเพาะ

กรณีที่อาหารนั้นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงานต่ำ ค่าความร้อนจำเพาะจะมีส่วนช่วยให้การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นไปด้วยดี การควบคุมค่าความร้อนจำเพาะเป็นเทคนิคหนึ่งในการให้ความร้อนกับอาหารที่มีหลายองค์ประกอบโดยจัดสัดส่วนขององค์ประกอบให้มีค่าความร้อนจำเพาะใกล้เคียงกัน (วัชรินทร์, 2531)

10. ปริมาณของอาหาร

ปริมาณของอาหารมีผลต่อเวลาในการแปรรูปอาหารโดยไมโครเวฟ ถ้าอาหารมีปริมาณมากจะต้องใช้เวลาในการแปรรูปมาก เพราะอาหารจะร้อนช้ากว่าปริมาณอาหารน้อย ซึ่งต่างจากวิธีดั้งเดิมคือ การใช้เตาอบแบบลมร้อนในการแปรรูปอาหารจะไม่ขึ้นกับปริมาณของอาหาร

11. องค์ประกอบของอาหาร

อาหารต่างๆ มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันมากรวมทั้งส่วนประกอบที่จำเป็นต้องใช้ในการปรุงแต่งรสอาหาร เช่น เกลือ น้ำตาล หรือแป้ง เป็นต้น ล้วนแต่มีผลที่แตกต่างกันออกไปเมื่อนำมาแปรรูปด้วยไมโครเวฟ ในกรณีอาหารที่มีปริมาณโปรตีนจากเนื้อสัตว์ที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่เป็นปริมาณสูงจะมีความเหนียวมากเมื่อนำมาแปรรูปด้วยไมโครเวฟ เพราะเป็นการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วเกินไปจนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันไม่มีโอกาสที่จะสลายตัวได้เลย จึงมักเหนียวกว่าวิธีการให้ความร้อนโดยวิธีปกติแบบดั้งเดิม อาหารประเภทไข่ที่กะเทาะเปลือกออกแล้วจะสามารถนำมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แปรรูปด้วยไมโครเวฟอย่างรวดเร็ว เช่น การทำไข่ตุ๋น หรือสังขยาจะใช้ไมโครเวฟได้ดี แต่ถ้าเป็นไข่ทั้งฟองไม่ควร เพราะจะทำให้เกิดการระเบิดขึ้น น้ำตาลที่ใช้ในการปรุงแต่งรสอาหาร การเคี่ยวน้ำเชื่อม หรือการทำลูกกวาดลูกอมจะไม่มีปัญหา จะทำให้เกิดความร้อนได้รวดเร็วด้วยไมโครเวฟ แต่สำหรับเกลือแกงและเกลือรูปแบบอื่นๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในน้ำและในอาหาร จะทำให้การดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ต่ำ มีผลทำให้เกิดความร้อนได้ช้าลง

2.8.4 การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร

การให้ความร้อนกับอาหารโดยไมโครเวฟได้มีการนำมาปรับใช้กับอาหารชนิดอื่นๆ และใช้ในกระบวนการอื่นๆ อีกมากมาย ดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 การประยุกต์ใช้ระบบไมโครเวฟกับอาหาร

กรรมวิธี	ผลิตภัณฑ์
ละลายน้ำแข็ง	เนื้อสัตว์ ปลา หมู
ทำให้สุก	เบคอน พายเนื้อ ไส้กรอก มันฝรั่ง ปลาซาร์ดีน ไก่
อบแห้ง	พาสต้า หอมหัวใหญ่ ไข่แดง ขนมขบเคี้ยว สาหร่ายทะเล
อบแห้งภายใต้ระบบสุญญากาศ	น้ำส้มคั้น เมล็ดพันธุ์พืช
อบแห้งภายใต้สภาพเยือกแข็ง	เนื้อ ผัก ผลไม้
ฆ่าเชื้อบางส่วน	ขนมปัง โยเกิร์ต
อบ	ขนมปัง โดนัท
คั่ว	ถั่ว กาแฟ โกโก้
ลวก	ข้าวโพด มันฝรั่ง ผลไม้
เคี่ยว	มันหมู ไขมัน

ที่มา : วัชรินทร์, 2531

2.8.5 ข้อดีของการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ

1. เพิ่มความสะดวก และเป็นแหล่งของความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง มีความยืดหยุ่นและควบคุมได้ง่าย เป็นการทำความร้อนที่รวดเร็วกว่าวิธีการทำความร้อนแบบดั้งเดิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. อาหารมีความสะอาด

3. สามารถทำความร้อนให้แก่อาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดที่แยกการทำความร้อนได้

4. เป็นการทำความร้อนที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากอากาศที่อยู่รอบๆ และเตาไมโครเวฟไม่ถูกทำให้ร้อน อัตราส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ได้มากถึง 40-50% ในเตาไมโครเวฟที่ใช้คลื่นความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ต

5. การทำความร้อนโดยไมโครเวฟมีลักษณะเฉพาะที่สามารถใช้ร่วมกับวิธีการทำความร้อนแบบอื่นๆ เพื่อที่จะทำให้ได้อุณหภูมิสูงตามต้องการ เช่น การทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้า

6. ช่วยลดขั้นตอนการผลิตและลดความเสียหาย

7. เนื่องจากไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนขึ้นจากภายในอาหาร ทำให้การกระจายของอุณหภูมิมีความสม่ำเสมอกว่า และไม่ทำให้เกิดความร้อนที่สูงเกินไปที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ในทางตรงกันข้ามการดูดซับพลังงานไมโครเวฟซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้องค์ประกอบของอาหารบางอย่างร้อนขึ้นได้เร็วกว่าองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งการที่อุณหภูมิของอาหารมีความสูงต่ำไม่เท่ากัน ทำให้สามารถใช้คุณสมบัตินี้ในการทำความร้อนแก่อาหารที่มีความแตกต่างกันได้ในเวลาเดียวกันได้

2.8.6 ข้อเสียของการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ

1. เนื่องจากการดูดซับพลังงานไมโครเวฟของอาหาร ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้า อาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันมากจะมีรูปแบบของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากเมื่อทำความร้อนโดยไมโครเวฟ อาหารที่เกิดความร้อนไม่สม่ำเสมอมีสาเหตุมาจากลักษณะเฉพาะตัวของอาหาร ขนาด และรูปร่าง ดังนั้นโอกาสในการเกิดความร้อนที่สูงเกินไปจึงมักเกิดขึ้นที่บริเวณมุมหรือขอบ ในขณะที่อาจจะเกิดความร้อนน้อยกว่าที่ต้องการในบริเวณใจกลางอาหารที่มีขนาดชิ้นใหญ่

2. เป็นการลงทุนที่สูง เนื่องจากแมกนีตรอนเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงกว่าอุปกรณ์ที่ทำความร้อนวิธีดั้งเดิม

3. ต้องการมาตรการรักษาความปลอดภัยที่แตกต่างไปจากการทำความร้อนโดยวิธีดั้งเดิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ เป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับระบบการทำแห้งภายใต้สุญญากาศ (สายสนมและคณะ, 2546) ใช้หลักการลดจุดเดือดของน้ำในผลิตภัณฑ์ลงโดยใช้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งสามารถทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อรักษาสี รูปทรง รส กลิ่น และสารอาหารให้ได้ใกล้เคียงกับของสด การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟแตกต่างจากการให้ความร้อนโดยวิธีปกติ ที่ความร้อนจะเคลื่อนที่จากผิวด้านนอกเข้าสู่ใจกลางของผลิตผล แล้วทำให้ไอน้ำระเหยออกมา ผลผลิตจะค่อยๆแห้งจากผิวนอกเข้าไปสู่แกนกลาง ผิวซึ่งแห้งแล้วก็จะเป็นฉนวนความร้อน ทำให้การนำความร้อนลดลงจึงต้องใช้เวลาอบแห้งนาน แล้วยังมีผลให้ผิวนอกแข็งและมีสีคล้ำ ส่วนวิธีการให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟนั้น ทุกส่วนของผลิตผลที่นำมาอบแห้งจะได้รับพลังงานพร้อมกัน ทำให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่จากภายในออกสู่ผิวนอก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปทรงคล้ายรูปเดิม และการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่นมาก ทำให้ประหยัดพลังงานในการอบแห้ง และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีใกล้เคียงกับของเดิม เพราะได้รับความร้อนเป็นเวลาสั้นๆเท่านั้น (วีระชัย, 2544) นอกจากนั้นการอบแห้งโดยวิธีนี้ยังสามารถทำได้ตลอดเวลาไม่ว่าสภาวะอากาศจะเป็นอย่างไร

2.9.1 ระบบการทำงาน

เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน เป็นการอบแห้งที่สภาวะสุญญากาศ ซึ่งมีส่วนประกอบของเครื่องที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ถังอบไมโครเวฟ

ถังอบไมโครเวฟ มีลักษณะเป็นห้องอบแห้งทรงกระบอก และมีท่อนำคลื่นไมโครเวฟต่ออยู่ด้านข้างของผนังถัง เพื่อนำคลื่นไมโครเวฟจากแหล่งกำเนิด (แมกนีตรอน) มาสู่บริเวณภายในห้องอบที่มีถังหมุน ซึ่งเป็นส่วนที่ใส่วัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง โดยได้มีการออกแบบให้มีใบกวาดเป็นครีบอยู่ภายในทำหน้าที่พาผลิตภัณฑ์ขึ้นไปแล้วปล่อยให้ตกลงมาอย่างอิสระ ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานไมโครเวฟอย่างทั่วถึง และไอน้ำที่ระเหยออกมาจากผลิตภัณฑ์สามารถเคลื่อนที่ออกไปได้สะดวก ทำให้การอบแห้งใช้เวลาน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. เครื่องจับไอน้ำ

เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดปริมาตรของไอน้ำก่อนเข้าปั๊มสุญญากาศ เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำเมื่อปริมาตรของน้ำที่กลายเป็นไอจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นหลายเท่า ทำให้ปั๊มสุญญากาศไม่สามารถที่จะดูดอากาศออกได้ทันกับปริมาตรไอน้ำที่ขยายตัวในถังอบ จึงทำให้ความสามารถในการดูดอากาศลดลงมา ส่งผลให้ความดันที่เป็นสุญญากาศลดลง นอกจากนั้นยังทำให้ไอน้ำเกิดการกลั่นตัวภายในถังอบและการอบแห้งไม่สามารถทำงานต่อได้ หรือทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งเปลี่ยนสภาพไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องจับไอน้ำ เพื่อให้ปั๊มสุญญากาศทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตลอดช่วงเวลาการอบแห้ง

3. ปั๊มสุญญากาศ

เครื่องปั๊มสุญญากาศเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ดูดอากาศทำให้เกิดสภาพสุญญากาศภายในถังอบ

อย่างไรก็ตาม การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศก็ยังมีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือ มีการใช้กระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูง หากมีการใช้ระบบที่ผสมผสานกันระหว่างการอบแห้งวิธีดั้งเดิมที่ใช้ระบบลมร้อนสำหรับใช้ในการกำจัดความชื้นที่ระเหยได้ง่ายออกไป ตามด้วยการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศสำหรับกำจัดความชื้นที่ระเหยได้ยากออกไปในขั้นตอนสุดท้ายของการอบแห้ง อาจช่วยลดต้นทุนได้มากกว่าการอบแห้งโดยใช้ระบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลิตภัณฑ์และต้นทุนของแหล่งพลังงาน ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณา เนื่องจากมีผลต่อการเลือกกระบวนการในการทำแห้ง และต้องมีการพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งต้องมีคุณภาพสูงและเป็นที่ต้องการในท้องตลาด

2.10 วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology ; RSM)

วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวหรือ RSM เป็นวิธีการคณิตศาสตร์และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบหุ่นและวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น อย่างไรก็ตามในการศึกษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยใช้วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวนั้นจำเป็นต้องค้นหาฟังก์ชันที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตามหรือค่าตอบ สนองต่อตัวแปรอิสระต่างๆ เป็นลำดับแรก การค้นหาฟังก์ชันต่างๆ เหล่านี้มักใช้ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล (Polynomial) ลำดับต้นๆ เช่น ลำดับหนึ่งหรือกำลังหนึ่ง (First order) ลำดับสองหรือกำลังสอง (Second order) เป็นต้น

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 งานวิจัยการทำผลไม้แผ่น

Che Man and Taufik (1995) ศึกษาการทำขนุนแผ่นโดยนำเนื้อขนุนมาลวกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที หรือนำมาแช่ในโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาปั่นให้ละเอียด จากนั้นเติมน้ำตาล 10% กรดซอร์บิก 200 ส่วนในล้านส่วน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 500 ส่วนในล้านส่วน ผสมให้เข้ากันและมาทำแห้งในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสามารถม้วนเป็นแผ่นได้ จากการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ลวกจะมีความสว่างและมีสีเหลืองกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่ในโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

Irwandi and Che Man (1995) พัฒนาสูตรทุเรียนแผ่นโดยเตรียมทุเรียนแผ่นขึ้น 3 สูตร คือ สูตรที่หนึ่งใช้เนื้อทุเรียน 250 กรัม นึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 85-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำมาปั่นผสม เติมน้ำตาลซูโครส 7% น้ำ 10% และกรดซอร์บิก 200 ส่วนในล้านส่วน สูตรที่สอง เพิ่มมอลโตเดกซ์ตริน 10% และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการไฮโดรจีเนต 2% และเลซิติน 0.1% ในสูตรที่หนึ่ง ส่วนสูตรที่สาม เพิ่มสีเหลืองไข่ 100 ส่วนในล้านส่วนลงในสูตรที่สอง ทุเรียนแผ่นทั้งสามสูตรให้พลังงานโดยเฉลี่ย 431-473 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พบว่า ทุเรียนแผ่นสูตรที่สองและสามมีการยอมรับไม่แตกต่างกัน ซึ่งทุเรียนแผ่นทั้งสามสูตรมีการยอมรับในระดับคะแนนสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อนุวัตร และคณะ (2543) ศึกษาชนิดและปริมาณสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมกับทุเรียนแผ่น (ชะนี และหมอนทอง) โดยคัดเลือกจากสารปรับปรุงเนื้อสัมผัส 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ตริน กลูโคสไซรัป และน้ำผึ้ง พบว่า สารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมกับทุเรียนแผ่นที่ผลิตจากทุเรียนพันธุ์ชะนี คือ มอลโตเดกซ์ตริน 5% ส่วนทุเรียนแผ่นที่ผลิตจากทุเรียนพันธุ์หมอนทองไม่

จำเป็นต้องใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัส และการเพิ่มปริมาณน้ำตาลจะทำให้ทุเรียนแผ่นที่ผลิตจากทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีความสามารถในการต้านทานแรงดึงและมีความเหนียวลดลง

ผุสดี (2547) ศึกษาผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นผสมโดยทำการคัดเลือกชนิดของผลไม้ที่เหมาะสมซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์ที่หนึ่งทำการคัดเลือกผลไม้ 3 ชนิด คือ มะม่วง มะละกอ และสับปะรด พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบแก่ผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นผสมระหว่างมะม่วงและมะละกอเป็นคะแนน 5.77 ส่วนผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นกลุ่มที่สองเป็นการคัดเลือกชนิดของมะม่วง สับปะรด และส้ม พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบแก่ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยมะม่วงและสับปะรดเป็นคะแนน 5.11

2.11.2 งานวิจัยการใช้เครื่องอบลมร้อน

Irwandi and Che Man (1995) พัฒนาผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่น โดยทำเป็นแผ่นหนา 1.2 มิลลิเมตร แล้วนำมาอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดด้วยอุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่า ทุเรียนแผ่นที่ได้มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity; Aw) อยู่ในช่วง 0.57-0.62

Che Man *et al.* (1997) ศึกษาผลของชนิดเครื่องอบแห้งและสภาวะในการอบแห้งต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ทุเรียนแผ่น พบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบแบบ Cabinet Dryer ใช้ระยะเวลาอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบ Oven Dryer การอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบ Cabinet Dryer เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ทำให้ทุเรียนแผ่นมีสีเหมือนทุเรียนไหม้ ขณะที่อบด้วย Oven Dryer สีของทุเรียนแผ่นยังได้รับการยอมรับ และพบว่าการใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้ทุเรียนแผ่นมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่า แต่เสี่ยงต่อการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ และการสูญเสียของวิตามินซี จากการทดลองอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิด คือ อุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการอบ 10-14 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Cano-Chauca *et al.* (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยในระหว่างการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิในการอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า การอบแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าสีของกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส และ

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 3 ระดับ พบว่า ค่าแรงตัด (cutting force) มีค่าอยู่ระหว่าง 1.37-1.48 กิโลกรัม (kgf)

Lee *et al.* (2004) ศึกษาการอบแห้งสตรอเบอร์รี่แผ่น โดยใช้เครื่องอบลมร้อน และตรวจสอบผลของพารามิเตอร์ในกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และความหนาของตัวอย่าง พบว่า ทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และความหนาของตัวอย่างมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นที่ปรากฏ (apparent moisture diffusion coefficient; Deff) และค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy; Ea) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35.57 (r^2=0.98), 33.14 (r^2=0.98) และ 30.46 (r^2=1.00) กิโลจูลต่อโมล สำหรับตัวอย่างสตรอเบอร์รี่แผ่นที่มีความหนา 1.8, 2.7 และ 3.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ

Lewicki and Jakbczyk (2004) ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณน้ำต่อการทดสอบ compression-relaxation ของ apple slices ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบ ลมร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 50-80 องศาเซลเซียส พบว่า การลดลงของปริมาณความชื้นและ Aw จะทำให้ค่าแรงกด (compression) เพิ่มขึ้น และยังพบว่า ความคงตัวต่อแรงกดของ apple slices ที่ผ่านการอบแห้งมีความสัมพันธ์กับปริมาตรการหดตัว (volumetric shrinkage) โดยปริมาตรการหดตัวที่ลดลงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 50 เป็น 70 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเพิ่ม compression stress มากกว่า 30% และการเพิ่มอุณหภูมิจาก 70 เป็น 80 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาตรการหดตัวลดลง 12% และค่า compression stress เพิ่มขึ้นมากกว่า 2.5 เท่า

Doymaz (2005) ศึกษาการอบแห้งถั่วเขียวแบบ thin layer โดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส ในการลดความชื้นถั่วเขียวจาก 90.53±0.55% ให้เหลือ 14±0.3% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้ง เป็นสาเหตุให้ระยะเวลาในการทำแห้งลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Doymaz *et al.* (2006) ศึกษาการอบแห้ง dill และ parsley leaves โดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่ความเร็วลม 1.1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิในการทำแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และในระหว่างกระบวนการอบแห้งพบเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านสี

พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้ง dill และ parsley leaves คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

Mwithiga and Olwal (2005) ศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งคะน้า (kale)โดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส และความหนาของชั้นคะน้าที่ 10, 20, 40 และ 50 มิลลิเมตร พบว่า อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งและลดความหนาของชั้นคะน้าลง ซึ่งมีผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงด้วย การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งจาก 30 เป็น 40 องศาเซลเซียส จะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงครึ่งหนึ่งของระยะเวลาทั้งหมด และยังพบว่า ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อการแพร่ (diffusivity) ของน้ำในผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับสมการ Arrhenius สูง ($R^2 = 0.9989$)

Karabulut *et al.* (2006) ศึกษาผลของการอบแห้งแอปริคอท (apricot) โดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และการตากแดด ต่อค่าสีและปริมาณเบตาแคโรทีน (β-carotene) พบว่า เวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนมีค่าน้อยกว่าการตากแดด ปริมาณเบตาแคโรทีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การอบแห้งแอปริคอทโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้ค่าสีเป็นที่น่าพอใจและมีการสูญเสียองค์ประกอบทางโภชนาการลดลง ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดรอยไหม้บนผิวผลิตภัณฑ์ และการเติมสารประกอบซัลไฟต์จะช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลบนผิวผลิตภัณฑ์และช่วยลดเวลาในการอบแห้งได้

Kotwaliwale *et al.* (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณสมบัติที่ปรากฏของเห็ดในระหว่างการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน พบว่า ในระหว่างการอบแห้งค่า hardness และ chewiness ของเห็ดมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า cohesiveness และ springiness เพิ่มขึ้นในช่วงแรก และลดลงในช่วงท้ายของการอบแห้ง ค่า hardness ของเห็ดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าสูง ส่วนค่า cohesiveness จะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L*) ของเห็ดจะลดลงขณะที่ค่าสีเหลือง (b*) มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการอบแห้ง และพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทัศวรรณ (2546) ศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลและอุณหภูมิลมร้อนที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง โดยทดลองหาอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-90 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 0.7 เมตรต่อวินาที และอัตราการไหลของอากาศที่ 86 และ 130 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง พบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และอัตราการไหล 130 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง ประหยัดพลังงานที่สุด สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ของลำไยหลังการอบแห้งโดยใช้ค่าสีเป็นบรรทัดฐาน พบว่า อุณหภูมิลมร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเปลือกลำไย แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อลำไย และที่อุณหภูมิลมร้อนเดียวกันอัตราการไหลของอากาศไม่มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์

พัชรกานต์ (2546) ศึกษาคุณภาพของกล้วยน้ำว้าอบแห้ง ด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดหมุนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยกำหนดเวลาที่ใช้ในการอบแห้งคงที่ คือ 18 ชั่วโมงต่อเครื่อง พบว่า หลังอบแห้งกล้วยจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลทั้งหมด ค่า Aw และค่าสี L C* H^o ลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่วนค่า pH และค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) กล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดหมุนมีคุณภาพดีกว่ากล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบ แห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เนื่องจากสภาวะของการอบด้วยลมร้อนจะสม่ำเสมอกว่า

2.11.3 งานวิจัยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

Schirmer *et al.* (1995) ศึกษาการอบแห้งกล้วยโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ภายใต้สภาวะความร้อนและความชื้นของประเทศไทย เครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยตัวรับแสงอาทิตย์ พลาสติก ส่วนอุโมงค์ในการอบแห้ง ใช้ความร้อนและพัดลม 3 ตัว และแผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 53 วัตต์ โดยนำกล้วยมาปอกเปลือก ไม่เติมสารเคมีใดๆ เริ่มอบแห้งตั้งแต่เวลา 8.00 น.-17.00 น. ในแต่ละชุดสามารถใช้กล้วยปริมาณ 300 กิโลกรัม มีการเลือกใช้กล้วยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร มีความชื้น 69% และมีปริมาณน้ำตาล 27 องศาบริกซ์ อุณหภูมิในการอบแห้ง 40-65 องศาเซลเซียส เมื่อถึงเวลา 17.00 น. จะเก็บกล้วยลงกล่องพลาสติก และนำมาอบต่อในช่วงเช้าใช้เวลาอบแห้งประมาณ 3-5 วัน ซึ่งถ้าเป็นการตากแดดปกติจะใช้เวลา 5-7 วัน และกล้วยที่ได้จะมีความชื้นประมาณ 30% มีปริมาณน้ำตาล 55 องศาบริกซ์ น้ำหนักกล้วยทั้งหมดหลังการอบแห้งจะเหลือประมาณ 50-100 กิโลกรัมขึ้นกับความสุกและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Balladin and Headley (1999) ศึกษาองค์ประกอบของกะเพราภายหลังการอบแห้งโดยใช้เครื่องแห้งอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบตะแกรงลวดและเครื่องอบแห้งแบบธรรมดา (Oven drying) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีปริมาณความชื้นถึงจุดสมดุลซึ่งใช้เวลา 12 ชั่วโมง และ 9.5 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า กะเพราอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตะแกรงลวดและเครื่องอบแห้งแบบธรรมดามีค่าเปอร์เซ็นต์ของ essential oils ที่สกัดได้ ค่าเปอร์เซ็นต์ของ oleoresin และปริมาณเถ้า เท่ากับ 0.6%, 27%, 2.25% และ 0.5%, 27%, 2.03% ตามลำดับ

Lahsasni *et al.* (2004) ศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งลูกแพร์โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 23-34% อัตราการไหลของอากาศ 0.0277-0.0833 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ 200-950 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่า กราฟการอบแห้งลูกแพร์แสดงเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น และอุณหภูมิอากาศในการอบแห้งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการทำแห้งลูกแพร์ อัตราการอบแห้งสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยอุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้น และรูปแบบการอบแห้งแบบ two-term ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r = 0.9999) สามารถอธิบายกราฟของการอบแห้งลูกแพร์ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างน่าพอใจ

Chen *et al.* (2005) ศึกษาผลของการอบแห้งมะนาวแผ่น (lemon slices) โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบปิด (ที่ใช้กระจกที่มีการส่งถ่ายพลังงานได้สูง เพื่อลดการสะท้อนของแสงอาทิตย์ และเพื่อให้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ส่งต่อโดยตรงถึงวัตถุดิบในระหว่างการอบแห้ง) ร่วมกับการใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนพัดลมในการหมุนเวียนอากาศ เปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า มะนาวแผ่นที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบปิดมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีกว่ามะนาวแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน และยังประหยัดพลังงานมากกว่า

Hossain and Bala (2007) ศึกษาการอบแห้งพริกสีแดงและสีเขียวที่ผ่านการลวก โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีลักษณะเป็นหลังคาพลาสติกคลุมส่วนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบ (flat-plat collector) และลมร้อนภายในอุโมงค์จะถูกขับออกไปโดยพัดลม เครื่องอบแห้งมีความจุพริกสดได้ 80 กิโลกรัม พบว่า พริกแห้งที่ได้มีคุณภาพด้านสี และรสชาติเผ็ดร้อนดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยการตากแดด และประหยัดเวลาในการทำแห้งด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไพโรจน์ และคณะ (2544) พัฒนากระบวนการอบแห้งมะม่วงแก้วโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยนำมะม่วงสุกไปแช่ในสารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล โซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ก่อนอบแห้งเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ 45 องศาเซลเซียส ความดัน 20 มิลลิบาร์ ใช้เวลาในการทำแห้ง 4.78 ชั่วโมง ส่วนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาสั้นกว่าคือ 2.95 ชั่วโมง นอกจากนี้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังช่วยประหยัดพลังงาน และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้

พิชญา และคณะ (2547) ศึกษาการอบแห้งเปปเปอร์มิ้นท์ ยูเอสเอมิ้นท์ และเลมอนไทม์ โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่า การอบแห้งสมุนไพรทั้งสามชนิดโดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน จะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วกว่าการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และคุณภาพของพืชสมุนไพรทั้งสามชนิดภายหลังการอบแห้ง พบว่า คุณภาพหลังการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีคุณภาพไม่ด้อยไปกว่าคุณภาพหลังการอบแห้งไฟฟ้าแบบถาดและการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบถาด และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน เป็น 2.35, 83.48 และ 15.54 บาทต่อ 1,800 กรัม ตามลำดับ

2.11.4 งานวิจัยการใช้เครื่องอบไมโครเวฟและเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

Drouzas and Schubert (1995) ศึกษาการอบแห้งผลไม้โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศในระบบ pulsed พบว่า สภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้ระบบสุญญากาศที่มีความดันต่ำกว่า 25 มิลลิบาร์ และใช้กำลังไมโครเวฟ 150 วัตต์ การอบแห้งจะเสร็จสิ้นภายในเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีเยี่ยม

Sousa *et al.* (2004) ศึกษาการอบแห้งกล้วยสุกโดยใช้ตู้อบไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้นสำหรับการอบแห้งในระดับ bench scale โดยแปรผันปัจจัยคือ อัตราการไหลของอากาศ (0.8-1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที) อุณหภูมิ (25-55 องศาเซลเซียส) และคงกำลังไมโครเวฟที่ 350±50 วัตต์ต่อกิโลกรัมกล้วยสุก พบว่า ค่าคงที่ในการอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 0.00861-0.01156 ต่อนาที และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะเวลาในการอบแห้งอยู่ในช่วง 200-290 นาที มีอัตราเร็วในการอบแห้งลดลงเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลง จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พบว่า ผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงคะแนนที่ดี คือ 5.46-7.23

Yongsawatdigul and Gunasekaran (1996a) ศึกษาการอบแห้งแครนเบอร์รี่โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศในระบบ continuous และ pulsed โดยแครนเบอร์รี่ที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยสารละลาย fructose corn syrup เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปอบแห้งจนมีความชื้นเหลือ 15% โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศทั้งสองระบบ ซึ่งในระบบ continuous มีการแปรผันปัจจัย คือ กำลังไมโครเวฟ (250 และ 500 วัตต์) และความดัน (5.33 และ 10.67 กิโลพาสคาล) ส่วนระบบ pulsed ใช้กำลังไมโครเวฟคงที่ที่ 250 วัตต์ และแปรผันปัจจัยคือ ความดัน (5.33 และ 10.67 กิโลพาสคาล) ระยะเวลาเปิดเครื่อง (30 และ 60 วินาที) และระยะเวลาปิดเครื่อง (60, 90 และ 120 วินาที) พบว่า ระบบ pulsed มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบ continuous และทั้งสองระบบการอบแห้งจะมีประสิทธิภาพเมื่อใช้ความดันที่ 5.33 กิโลพาสคาล ในระบบ pulsed ยังพบว่า การใช้ระยะเวลาในการเปิดและปิดเครื่องนาน 30 และ 150 วินาที ตามลำดับ จะทำให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพมากที่สุด

Yongsawatdigul and Gunasekaran (1996b) ศึกษาคุณภาพด้านสี/เนื้อสัมผัส และค่า Aw ของแครนเบอร์รี่ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ เปรียบเทียบกับเครื่องอบลมร้อน พบว่า แครนเบอร์รี่ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟแบบสุญญากาศให้สีแดงกว่า และมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มกว่าแครนเบอร์รี่ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน และยังพบว่าสีแดงของแครนเบอร์รี่จะลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

Drouzas *et al.* (1999) ศึกษาการอบแห้งเพคตินเจล (pectin gel) ซึ่งใช้เป็นต้นแบบของน้ำส้มเข้มข้นโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 640-710 วัตต์ และระดับความดันสุญญากาศ 30-50 มิลลิบาร์ พบว่า อัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับกำลังไมโครเวฟและลดระดับความดันสุญญากาศลง และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบลมร้อนจะให้ค่าสีแดงมากกว่า ค่าความสว่างและสีเหลืองน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศเพียงอย่างเดียว เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูงได้รับความร้อนสูงจึงเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Sunjka *et al.* (2004) ศึกษาการอบแห้งแครนเบอรี่โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟ และเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ แล้วประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งทั้งสองวิธี พบว่า การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และประหยัดพลังงานมากกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบธรรมดา แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบธรรมดาได้รับความชอบมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศเล็กน้อย

Lin *et al.* (1998) ศึกษาผลของการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศต่อการคืนรูป (rehydration) สี ความหนาแน่น คุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของแครอทแผ่นเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนและเครื่อง freeze-dry พบว่า แครอทแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีการคืนรูป ปริมาณแอลฟาแคโรทีน (α-carotene) และวิตามินซีสูงกว่า แต่มีความหนาแน่นต่ำกว่า และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าแครอทแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน และให้สี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสที่เท่ากับหรือดีกว่าการทำแห้งโดยใช้เครื่อง freeze-dry

Erle and Schubert (2001) ศึกษาผลการทำ osmotic pretreatment ร่วมกับการอบแห้งแอปเปิ้ลและสตรอเบอร์รี่โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ โดยทั้งแอปเปิ้ลและสตรอเบอร์รี่จะผ่านการทำ pretreatment ด้วยการแช่ในสารละลายซูโครส แล้วนำไปอบแห้ง พบว่า ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพสูงทั้งด้านสี รสชาติ ปริมาณวิตามินซี โครงสร้าง และปริมาตร โดยปริมาณวิตามินซียังคงเหลืออยู่ประมาณ 60% ทั้งในแอปเปิ้ลและสตรอเบอร์รี่ และพบว่าปริมาตรของแอปเปิ้ลและสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการแล้วยังคงอยู่สูงถึง 60% และ 50% ของแอปเปิ้ลสดและสตรอเบอร์รี่สด ตามลำดับ

Krulis *et al.* (2005) ศึกษาปริมาณพลังงานที่ให้ (2.4-10.5 กิโลวัตต์ต่อกิโลกรัมสารแห้ง) และปริมาณความชื้นเริ่มต้น (0.17-0.73 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ พบว่าภายหลังการอบแห้ง องค์ประกอบของกลิ่น (aroma) กลิ่นรส (flavor) และสีของสตรอเบอร์รี่จะยังคงอยู่ ผลิตภัณฑ์มีความกรอบและมีการพองตัว (puffing) เกิดขึ้น การใช้วัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงและการใช้กำลังไมโครเวฟที่สูง จะทำให้ประสิทธิภาพการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีค่าสูงสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Soysal (2004) ศึกษาการอบแห้งผักชีฝรั่ง (parsley) โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟที่มีกำลังไมโครเวฟในช่วง 390-900 วัตต์ พบว่า ในการอบแห้งมีการสูญเสียความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟลดลงเป็นผลให้อัตราเร็วในการอบแห้งลดลง การเพิ่มกำลังไมโครเวฟจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง จากการประเมินค่าสี พบว่า ไม่มีความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์สดและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงค่าสีไม่ขึ้นกับกำลังไมโครเวฟ และถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยไมโครเวฟจะเกิดสีดำขึ้นเป็นบางแห่ง แต่ก็ยังสามารถรักษาสีเขียวให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สดไว้ได้ การอบแห้งโดยใช้กำลังไมโครเวฟ 900 วัตต์ แทน 360 วัตต์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี เนื่องจากลดเวลาในการทำแห้งได้ถึง 64%

Scott *et al.* (2005) ศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ โดยมันฝรั่ง (Russet Burbank) ผ่านการลวกเป็นเวลา 2 นาทีในน้ำร้อน ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาตั้งแต่ 0-150 นาที ที่กำลังไมโครเวฟ 1 กิโลวัตต์ แล้ววัดปริมาณความชื้นและสี พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันฝรั่งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถรักษาสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

Sharma and Prasad (2006) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกลีบกระเทียมโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ โดยนำกลีบกระเทียมที่มีขนาดเท่ากันไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0, 2.0 เมตรต่อวินาที และกำลังไมโครเวฟ 10, 20, 30 และ 40 วัตต์ พบว่า การใช้กำลังไมโครเวฟ 40 วัตต์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีทั้งในด้านสี กลิ่น และปริมาณวิตามินซี และยังเป็นกระบวนการอบแห้งที่ใช้พลังงานต่ำ

Ozkan *et al.* (2007) ศึกษาการอบแห้งผักโขม (spinach) โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 90-1,000 วัตต์ จนกระทั่งเหลือปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ 0.1 กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมน้ำหนักสารแห้ง พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 290-4,005 วินาที ขึ้นอยู่กับระดับกำลังไมโครเวฟ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 500 และ 800 วัตต์ จะให้ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองดีที่สุด และที่กำลังไมโครเวฟ 750 วัตต์ เป็นระดับกำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งผักโขม เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งต่ำ ประหยัดพลังงาน และคงปริมาณกรดแอสคอร์บิกและค่าสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้มากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.11.5 งานวิจัยการใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบแห้งอื่นๆ

Funebo and Ohlsson (1998) ศึกษาการอบแห้งแอปเปิ้ลและเห็ดโดยใช้เครื่องอบลมร้อนและเครื่อง microwave-assisted air พบว่า การอบแห้งแอปเปิ้ลโดยใช้เครื่อง microwave-assisted air ที่กำลังไมโครเวฟ 0.1 วัตต์ต่อกรัม อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสี L* a* b* ใกล้เคียงกับแอปเปิ้ลสด และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน และการอบแห้งเห็ดโดยใช้เครื่อง microwave-assisted air ที่กำลังไมโครเวฟ 0.1 วัตต์ต่อกรัม อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที จะใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 1/4 ของการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน การอบแห้งโดยใช้ความเร็วลมระดับต่ำจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น และมีผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและกำลังไมโครเวฟในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสว่าง (L*) ลดลงและสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น

Giri and Prasad (2007) ศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งและการคืนรูปของเห็ดกระดุมที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศและเครื่องอบลมร้อน การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีการแปรผันปัจจัย ได้แก่ กำลังไมโครเวฟ (115-285 วัตต์) ความดัน (6.5-23.5 กิโลพาสคาล) และความหนาของเห็ด (6-14 มิลลิเมตร) ส่วนการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนแปรผันปัจจัย คือ อุณหภูมิของลมร้อน (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) จากการเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งและคุณสมบัติในการคืนรูปของเห็ดกระดุมที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองวิธี พบว่า การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศลดเวลาการอบแห้งได้ 70-90% และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะการคืนรูปดีขึ้นเมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) พบว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทดลอง คือ กำลังไมโครเวฟ ตามด้วยความหนาของตัวอย่าง ในขณะที่ระบบความดันมีผลต่ออัตราการอบแห้งเพียงเล็กน้อย แต่จะมีผลต่ออัตราส่วนการคืนรูปของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Maskan (2000) ศึกษาการอบแห้งกล้วยโดยใช้เครื่องอบลมร้อน เครื่องอบไมโครเวฟ และเครื่องอบลมร้อนร่วมกับเครื่องอบไมโครเวฟขั้นสุดท้าย การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนทำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.45 เมตรต่อวินาที การใช้ไมโครเวฟแปรผันกำลังไมโครเวฟที่ 350, 490 และ 700 วัตต์ และการใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟจะอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 350 วัตต์ โดยตัวอย่างมีความหนา 4.3 มิลลิเมตร พบว่า การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนใช้

เวลาในการอบแห้งนานที่สุด ส่วนการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ พบว่า อัตราเร็วในการอบแห้งจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้กำลังไมโครเวฟสูงขึ้น และการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟขั้นสุดท้ายจะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนได้ประมาณ 64.3% และยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีสว่างกว่าและมีการคืนรูปมากที่สุด

Sharma and Prasad (2001) ศึกษาการอบแห้งกลีบกระเทียมโดยใช้เครื่องอบลมร้อนและเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับเครื่องอบลมร้อน ซึ่งใช้กระเทียมกลีบ 100 กรัม ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับเครื่องอบลมร้อนมีการแปรผันปัจจัย คือ อุณหภูมิ (40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และความเร็วลม (1.0 และ 2.0 เมตรต่อวินาที) ใช้กำลังไมโครเวฟแบบต่อเนื่องที่ 40 วัตต์ สำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนมีการแปรผันปัจจัย คือ อุณหภูมิ (60 และ 70 องศาเซลเซียส) และใช้ความเร็วลมคงที่ที่ 2.0 เมตรต่อวินาที พบว่า การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับเครื่องอบลมร้อนช่วยลดเวลาในการอบแห้งได้ 80-90% และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

Cui *et al.* (2003) ศึกษาการอบแห้งกระเทียมแผ่น (garlic slices)โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบลมร้อน เครื่องอบลมร้อน และเครื่อง freeze-dry โดยนำตัวอย่างกระเทียมแผ่นมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศจนมีความชื้นเหลืออยู่ 10% จากนั้นนำไปทำแห้งต่อโดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 5% แล้วประเมินกลิ่น สี เนื้อสัมผัส และการคืนรูป เปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนและเครื่อง freeze-dry พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบลมร้อน ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับการทำแห้งโดยใช้เครื่อง freeze-dry และให้คุณภาพดีกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน

Yousif *et al.* (1999) ศึกษาการอบแห้งใบโหระพาโดยใช้เครื่องอบลมร้อนและเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ จากการวิเคราะห์สารระเหยที่ปรากฏในตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้ง พบว่า มีสารระเหยสองชนิดที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ linalool และ methylchavicol (estragole) โดยตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีปริมาณ linalool เป็น 2.5 เท่า และ methylchavicol เป็น 1.5 เท่า ของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน และพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศให้ผลผลิตที่เป็นสารระเหยมากกว่าตัวอย่างสด เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระหว่างการอบแห้ง และมีอัตราเร็วในการคืนรูปมากกว่า ขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนไม่สามารถคืนรูปได้ แต่มีสีเข้มกว่าและมีสีเขียวน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

Xu *et al.* (2003) ศึกษาการอบแห้งกะหล่ำปลีโดยใช้เครื่องอบลมร้อนร่วมกับเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น พบว่า การใช้เครื่องอบแห้งทั้งสองแบบร่วมกันจะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ถึง 48.33% และยังช่วยรักษาองค์ประกอบของสารอาหารและปริมาณคลอโรฟิลล์ไว้ได้มากขึ้น

Cui *et al.* (2004) ศึกษาการอบแห้งใบต้นหอมจีน (Chinese chive leaves) และแครอทแผ่นโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ และเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบลมร้อนหรือเครื่องอบสุญญากาศ โดยนำตัวอย่างไปอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศจนกระทั่งมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 20% จากนั้นนำไปอบแห้งต่อโดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส หรือเครื่องอบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส หรือเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศแบบต่อเนื่องที่ระดับกำลังไมโครเวฟระดับต่ำจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 6% แล้ววัดปริมาณแคโรทีนอยด์ในแครอทแผ่น และคลอโรฟิลด์ในใบต้นหอมจีนที่เหลืออยู่จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้เครื่อง freeze-dry และเครื่องอบลมร้อน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในแครอทแผ่น และปริมาณคลอโรฟิลด์ในใบต้นหอมจีนที่เหลืออยู่จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบที่กล่าวข้างต้นมีปริมาณใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้เครื่อง freeze-dry และมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน และยังพบว่า การลวกไม่มีความจำเป็นเมื่ออบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ หรือใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบลมร้อนหรือเครื่องอบสุญญากาศ เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ที่สามารถตอบสนองต่อการสลายตัวของสีลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว และเนื่องจากการปราศจากออกซิเจนในการทำแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

Hu *et al.* (2006) ศึกษาลักษณะของถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนร่วมกับเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ และทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเพื่อเพิ่มอัตราการอบแห้งและเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ พบว่า การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลมร้อนมีอัตราเร็วในการอบแห้งอย่างรวดเร็วในขั้นเริ่มต้นแต่จะลดลงในขั้นสุดท้าย ส่วนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ พบว่า อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ระดับความดันติดลบและใช้ปริมาณตัวอย่างในการอบแห้งลดลง สำหรับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนร่วมกับเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และใช้เวลาในการอบแห้งใกล้เคียงกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศเพียงอย่างเดียว แต่จะเหนือกว่าในด้านของปริมาณตัวอย่างในการอบแห้ง กำลังไมโครเวฟที่ใช้ และเงินลงทุนเกี่ยวกับเครื่องมือ และการใช้เครื่องอบลมร้อนร่วมกับเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศจะให้ผลดีกว่าการใช้เครื่องอบลมร้อนเพียงอย่างเดียวในทุกๆด้าน ยกเว้นด้านเงินลงทุนเกี่ยวกับเครื่องมือ จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งถั่วเหลือง พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ การใช้เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตามด้วยการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 9.33 วัตต์ต่อกรัม เป็นเวลา 15 นาที ภายใต้ความดัน -95 กิโลพาสคาล จะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อนทั่วไป

สุชีรา (2547) ศึกษาการแปรรูปฟักทองแผ่นอบกรอบโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ โดยนำฟักทองที่ผ่านการนึ่งจนมีอุณหภูมิใจกลางเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส มาอบแห้งโดยแปรผันกำลังเครื่องไมโครเวฟที่ระดับ 50% และ 60% และคงความดันที่ 680 มิลลิบาร์ อบจนมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า กำลังไมโครเวฟระดับ 50% มีความเหมาะสมต่อการอบฟักทอง จากนั้นนำฟักทองที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อไล่ความชื้นบางส่วนออก แล้วทำการทดสอบคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าคะแนนคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับความเข้มพอดี และมีคะแนนความชอบโดยรวมในระดับปานกลาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved