บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

มะม่วง (Mango; *Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้เขตร้อน มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดีย และกระจายพันธุ์ไปสู่ประเทศต่างๆ ทั่วโลก (ภูวนาท, 2540) สำหรับประเทศไทยมะม่วงนับว่าเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากเป็นผลไม้ที่เกษตรกรไทยนิยมปลูกเป็นการค้ามากที่สุด คิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกผลไม้ทั้งหมดของประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2545: ระบบออนไลน์) โดยในปี พ.ศ.2546 มีพื้นที่ปลูกรวม 2,076,375 ไร่ เป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้ว 1,735,352 ไร่ มีผลผลิตรวม 1,802,431 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546: ระบบออนไลน์)

มะม่วงในประเทศไทยมีมากมายหลากหลายพันธุ์ โดยแต่ละพันธุ์มีลักษณะของต้น ทรงพุ่ม ใบ ผล และรสชาติที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งมะม่วงที่นิยมบริโภคกันในปัจจุบันนี้สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของผล (ภูวนาท, 2540) ดังนี้

1. มะม่วงบริโภคผลดิบหรือมะม่วงมัน มะม่วงประเภทนี้จะมีรสหวานเมื่อตอนแก่จัด ถึงแม้ผลยังไม่สุก เช่น เขียวเสวย แรด และพิมเสนมัน เป็นต้น อีกพวกหนึ่งมีรสมัน ไม่เปรี้ยว แม้ผลยังเล็กอยู่ เช่น สายฝน ฟ้าลั่น และหนองแซง เป็นต้น โดยทั่วไปมะม่วงที่บริโภคผลดิบทุกชนิดจะเก็บรักษาไว้ในลักษณะมะม่วงแก่ได้ไม่กี่วันก็จะเริ่มสุก ซึ่งโดยมากจะมีรสหวานและรสไม่จัดเหมือนขณะที่ผลดิบอยู่ จึงไม่นิยมที่จะส่งจำหน่ายยังต่างประเทศหรือส่งจำหน่ายยังจังหวัดไกลๆ

2. มะม่วงบริโภคผลสุก มะม่วงประเภทนี้เมื่อผลดิบจะมีรสเปรี้ยวมาก ดังนั้นจึงนิยมเก็บเกี่ยวออกจากต้นเมื่อผลแก่เต็มที่แล้วบ่มให้สุกก่อนนำมาบริโภค เมื่อผลสุกแล้วจะมีรสหวานและหอม พันธุ์มะม่วงที่นิยมบริโภคผลสุก ได้แก่ อกร่องทอง พิมเสน หนังกลางวัน ลิ้นงูเห่า และน้ำดอกไม้ เป็นต้น

3. มะม่วงใช้แปรรูป เป็นมะม่วงที่มีผลดก มีผลขนาดเล็กหรือปานกลาง เมื่อแก่จัดจะมีรสมันอมเปรี้ยว เมื่อผลสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยวหรือจืด สำหรับพันธุ์มะม่วงที่ใช้แปรรูปอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ได้แก่ มะม่วงแก้ว มะม่วงพิมเสนเปรี้ยว หรือมะม่วงพันธุ์อื่นๆ ที่ไม่นิยมบริโภคผลสุก นอกจากนี้จะต้องเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากและมีราคาไม่แพงจนเกินไป (วิจิตร, 2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มะม่วงแก้ว

มะม่วงแก้วเป็นมะม่วงพันธุ์ท้องถิ่นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางชนิดหนึ่งในประเทศไทย มีแหล่งปลูกครอบคลุมทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ยกเว้นภาคใต้ซึ่งมีค่อนข้างน้อย แหล่งปลูกที่สำคัญสูงสุดอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ตามลำดับ

มะม่วงแก้วมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทนต่อโรคและแมลงศัตรูพืช รวมถึงสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี ออกดอกติดผลค่อนข้างสม่ำเสมอทุกปี ให้ผลดก และสามารถให้ผลนอกฤดู (ทะวาย) ได้ ผลมีลักษณะกลมป้อม ที่ผิวผลมีต่อมน้ำมันกระจายทั่วไป เมื่อผลดิบผิวเปลือกมีสีเขียวเข้ม เนื้อสีขาวนวล มีปริมาณแป้งมาก และมีรสเปรี้ยว แต่เมื่อแก่จัดจะมีรสมันอมเปรี้ยว ผลสุกมีสีเหลือง แต่สีจะไม่สม่ำเสมอเมื่อสุกตามธรรมชาติ (ธวัชชัยและคณะ, 2545) ผลมะม่วงแก้วขนาดกลางมีความยาวเฉลี่ย 9.0 เซนติเมตร กว้าง 6.1 เซนติเมตร และหนา 5.5 เซนติเมตร น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 180 กรัม เปลือกหนาปานกลาง (0.14 เซนติเมตร) มีปริมาณเนื้อผลประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ (วิจิตร, 2536) มะม่วงแก้วสุกจะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่าผลไม้บางชนิด โดยมีถึง 1,768 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม โดยคุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงแก้ว แสดงดังในตาราง 2.1

มะม่วงแก้วมีอยู่หลายสายพันธุ์ ซึ่งนิยมเรียกตามลักษณะผลดังนี้

1. มะม่วงแก้วเขียว ผลดิบผิวผลมีสีเขียวอ่อน คล้ายผิวมะม่วงอกร่อง เนื้อผลมีสีขาวนวล ปลูกมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2. มะม่วงแก้วดำหรือแก้วแดง ผลดิบผิวผลจะมีสีเขียวเข้ม เมื่อผลสุกเนื้อมีสีส้มแดง เป็นพันธุ์มะม่วงดั้งเดิม มีปลูกทุกภาค ยกเว้นภาคใต้

3. มะม่วงแก้วขาว ผลดิบผิวผลมีสีขาวนวล ซึ่งแตกต่างจากมะม่วงแก้วชนิดอื่นๆ เมื่อผลสุกจะมีเนื้อสีแดง เนื้อละเอียด นิยมปลูกมากทางภาคกลาง โดยเฉพาะจังหวัดสิงห์บุรี ชัยนาท และอุทัยธานี

4. มะม่วงแก้วจุก เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ใช้ปลูกในทางการค้าเพราะมีเปลือกหนาและเนื้อแน่น ลักษณะผลโตกว่ามะม่วงแก้วพันธุ์อื่นๆ ขั้วผลมักมีลักษณะนูนยื่นออกมาเล็กน้อยคล้ายจุก แต่มักติดผลน้อยกว่ามะม่วงแก้วชนิดอื่นๆ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงแก้วดิบและสุกต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	มะม่วงแก้วดิบ	มะม่วงแก้วสุก
Proximate Composition		
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	76.0	93.0
น้ำ (กรัม)	81.0	76.7
โปรตีน (กรัม)	0.5	0.6
ไขมัน (กรัม)	0.2	0.1
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	18.1	22.4
ใยอาหาร (diet fiber) (กรัม)	2.4	1.6
เถ้า (กรัม)	0.2	0.2
แร่ธาตุ		
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	14.0	34.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	2.0	10.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	น้อยมาก	น้อยมาก
วิตามิน		
เรตินอล (ไมโครกรัม)	-	-
บีตา-แคโรทีน (ไมโครกรัม)	219	1,768
วิตามินเอรวม (ไมโครกรัม)	37	295
วิตามินอี (มิลลิกรัม)	-	-
วิตามินบีหนึ่ง (มิลลิกรัม)	0.05	0.05
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม)	0.02	0.06
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.2	1.1
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	35	28

ที่มา: กรมอนามัย, 2544

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถึงแม้การปลูกมะม่วงแก้วในปี พ.ศ. 2545 ซึ่งมีพื้นที่ปลูกเป็นอันดับสองรองจากมะม่วงเขียวเสวย แต่จำนวนผลผลิตรวมมีมากถึง 358,078.37 ตัน ซึ่งมีปริมาณมากเป็นอันดับหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงพันธุ์อื่นๆ นอกจากนี้มะม่วงแก้วยังมีราคาต่ำ โดยเฉลี่ยเพียง 5.41 บาทต่อกิโลกรัมเท่านั้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546: ระบบออนไลน์) เนื่องจากเมื่อถึงฤดูกาลผลผลิตจะออกสู่ตลาดมากเกินความต้องการ จึงทำให้มีราคาลดต่ำลง ดังนั้นหากนำมะม่วงแก้วมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะสามารถเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรได้

ลักษณะและคุณสมบัติที่ดีของมะม่วงแก้วสำหรับการแปรรูป

มะม่วงแก้วสำหรับการแปรรูปเชิงอุตสาหกรรม ควรมีลักษณะสำคัญตามที่ผู้ประกอบการต้องการ โดยที่ผู้ประกอบการจะคัดเลือกเฉพาะผลมะม่วงที่มีคุณภาพดี ไม่มีบาดแผลหรือรอยช้ำ มีขนาดผลและระยะความแก่สม่ำเสมอกัน ดังตาราง 2.2 ซึ่งแสดงลักษณะและคุณสมบัติของผลมะม่วงแก้วตามความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมะม่วงในภาคเหนือตอนบน

โดยทั่วไปอุตสาหกรรมแปรรูปจะใช้มะม่วงพันธุ์แก้วเป็นส่วนใหญ่ ทั้งแก้วเขียว แก้วดำ หรือแก้วจุก แต่ไม่นิยมใช้แก้วขาว การแปรรูปนิยมใช้มะม่วงแก้ว เนื่องจากมีเนื้อค่อนข้างแข็งกว่าพันธุ์อื่นๆ ทำให้ง่ายต่อการผลิต

มะม่วงแก้วจะให้ผลผลิตออกมาตั้งแต่ประมาณช่วงกลางเดือนมีนาคม แถบจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และจะทยอยออกมาเรื่อยๆ ขึ้นมาทางตอนบนจนกระทั่งถึงจังหวัดเชียงใหม่ประมาณเดือนมิถุนายน ซึ่งผลผลิตจะออกมากที่สุดในช่วงกลางเดือนเมษายนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ดังแสดงในภาพ 2.1 แต่ผลผลิตในช่วงปลายฤดูกาลจะไม่นิยมนำมาใช้ในการแปรรูป เนื่องจากเนื้อมะม่วงค่อนข้างนิ่มและแปรรูปได้ยาก (ชัยพร, 2545)

ในการส่งออกผลไม้ในรูปผลไม้แช่เย็น แช่เยือกแข็ง และอบแห้ง มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 ทั้งนี้เนื่องมาจากการให้ความสำคัญในการควบคุมมาตรฐานสินค้าจากทั้งภาครัฐและเอกชน และการดำเนินการเชิงรุกอย่างต่อเนื่องของไทยในการส่งเสริมให้มีการบริโภคผลไม้ไทยมากขึ้นในตลาดต่างประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2547 มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 420.74 ล้านเหรียญสหรัฐฯ เพิ่มขึ้น 20.54 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2546 (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2547: ระบบออนไลน์) ทั้งนี้ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป ฮ่องกง และไต้หวัน (ชัยพร, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ลักษณะและคุณสมบัติของมะม่วงแก้วที่เป็นความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมะม่วงในภาคเหนือตอนบน

ลักษณะ	คุณสมบัติที่ต้องการ	หมายเหตุ
พันธุ์	มะม่วงแก้ว (เขียว)	เป็นพันธุ์ที่โรงงานส่วนใหญ่ต้องการ ขณะที่มะม่วงพันธุ์ตลับนากและพันธุ์งา เป็นทางเลือกของผู้ประกอบการบางโรงงาน เมื่อมะม่วงแก้วมีราคาต่อหน่วยสูง
ขนาดผล	7-8 ผลต่อกิโลกรัม	เหมาะสำหรับการดอง เพราะเป็นขนาดที่ผู้ขายปลีกสามารถขายได้กำไร
	3-6 ผลต่อกิโลกรัม (เกรด 1: 3-4 ผลต่อกิโลกรัม) (เกรด 2: 5-6 ผลต่อกิโลกรัม)	
	น้อยกว่า 3 ผลต่อกิโลกรัม	เหมาะสำหรับการแปรรูปที่ต้องการปริมาณเนื้อมะม่วงมากเป็นหลัก
ความสม่ำเสมอของขนาดผล	ขนาดของผลในแต่ละกลุ่มต่อเกรด มีความสม่ำเสมอกันสูง	สามารถลดค่าแรงที่ใช้ในการแยกขนาดของผลต่อชิ้นเนื้อมะม่วงแปรรูป
ความสด	สด ไม่บอบช้ำจากการเก็บเกี่ยวหรือจากธรรมชาติ เช่น ลมพายุ	ถึงโรงงานภายใน 12 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว และเมื่อเด็ดก้านผลออกแล้วยังมียางไหลให้เห็นอยู่
ความแก่	ผลควรแก่จัดแต่ยังไม่สุก	เป็นผลที่จมน้ำและผลยังไม่เหลือง
ความสม่ำเสมอของการแก่	ผลแก่จัดพร้อมกันอย่างสม่ำเสมอ	มีผลอ่อนปนต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์
ความแน่นเนื้อต่อความกรอบ	เนื้อแน่น กรอบ ไม่เละ	พันธุ์แก้วเขียวมีความแน่นเนื้อต่อความกรอบมากกว่าพันธุ์แก้วขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

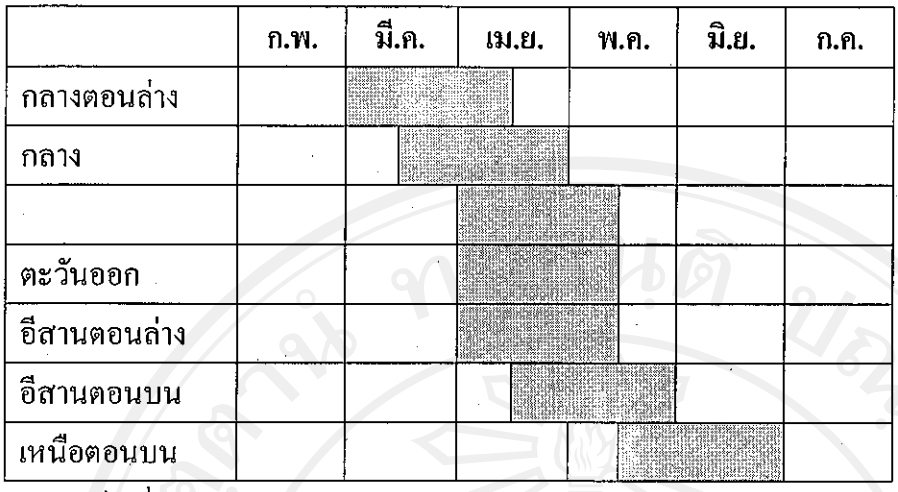
ตาราง 2.2 (ต่อ) ลักษณะและคุณสมบัติของมะม่วงแก้วที่เป็นความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมะม่วงในภาคเหนือตอนบน

ลักษณะ	คุณสมบัติที่ต้องการ	หมายเหตุ
ปริมาณเสี้ยน	มีปริมาณเสี้ยนน้อย	พันธุ์แก้วมีเสี้ยนมากกว่าพันธุ์การค้าอื่น เช่น โชคอนันต์
ความหวาน	เนื้อมีความหวานมาก	โดยเฉพาะการทำมะม่วงในน้ำเชื่อมเพื่อประหยัดน้ำตาล แต่ไม่จำเป็นต้องหวาน หากต้องผ่านกระบวนการดองเค็มก่อนนำไปแปรรูป
สีเนื้อ	มีสีเข้ม (เหลืองส้ม) และสม่ำเสมอกันทั้งผล	แก้วเขียวเมื่อสุกจะมีสีเข้มกว่าแก้วขาวและอีกหลายพันธุ์ที่ใช้ในต่างประเทศ
เปลือก	หนาพอสมควร	หนาพอที่จะไม่ช้ำง่ายขณะขนส่ง แต่ไม่หนามากจนทำให้ปอกเปลือกยาก
ศัตรูพืช	ไม่มีหนอนด้วงเจาะเมล็ดอยู่ภายใน	เป็นปัญหาในสวนมะม่วงที่ขาดการดูแล

ที่มา: ธวัชชัยและคณะ, 2545

ผลการศึกษาของชัยพร (2545) รายงานว่า มะม่วงแช่อิ่มอบแห้งที่คำนวณจากปริมาณการซื้อวัตถุดิบ (เฉพาะเนื้อ) ของโรงงานแปรรูปผลไม้แช่อิ่มอบแห้งทั้งหมดประมาณ 9,000-10,000 ตันต่อปี จะได้ผลิตภัณฑ์มะม่วงแช่อิ่มอบแห้งเพื่อส่งออกประมาณ 3,000 ตัน มีมูลค่าประมาณ 330 ล้านบาท สำหรับราคาของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลไม้ประเภท tropical fruit มีผลผลิตออกเป็นฤดูกาล จึงมีการกำหนดราคาส่งออก F.O.B. BKK โดยใช้อัตราแลกเปลี่ยน 1 เหรียญสหรัฐฯ เท่ากับ 43 บาท และสามารถปรับราคาขายได้ในบางช่วง โดยราคามะม่วงแช่อิ่มอบแห้งจะอยู่ที่ประมาณกิโลกรัมละ 2.55 เหรียญสหรัฐฯ F.O.B. BKK ในช่วงต้นฤดูกาลผลิต คือ ช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม ประมาณ 100 บาทต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มสูงขึ้นและคงที่ในช่วงเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม ประมาณ 110 บาทต่อกิโลกรัม ราคาสูงในช่วงประมาณเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ประมาณ 115 บาทต่อกิโลกรัม และราคาสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคม ประมาณ 120 บาทต่อกิโลกรัม เนื่องจากจะไม่มีวัตถุดิบในการผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.1 ฤดูกาลเก็บเกี่ยวมะม่วงของประเทศไทย
(ที่มา: ดัดแปลงจากธวัชชัยและคณะ, 2545)

การบ่มมะม่วง

การสุกของผลมะม่วงขึ้นกับฮอร์โมนชนิดหนึ่ง คือ เอทิลีน ซึ่งเป็นแก๊สที่พืชสามารถสร้างขึ้นมาเองได้และมีผลต่อการเติบโต ผลมะม่วงจะสร้างเอทิลีนมากขึ้นในช่วงที่ผลกำลังสุก จึงเป็นตัวเร่งให้ผลมะม่วงสุกได้เร็วขึ้น

มะม่วงที่เก็บเกี่ยวแล้วอาจสุกได้เองภายในเวลาไม่กี่วัน แต่ถ้ายังไม่แก่จัดจะสุกล่าช้าออกไป ผลมะม่วงภายในต้นเดียวกันอาจมีระยะความแก่ไม่เท่ากัน จึงเป็นปัญหาสำหรับการจำหน่ายผลมะม่วงในปริมาณมากๆ สำหรับตลาดต่างประเทศมีการใช้แก๊สเอทิลีนเป็นสารเร่งการบ่มผลไม้โดยตรง ซึ่งจะต้องสร้างห้องบ่มโดยเฉพาะ ห้องดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และมีการปล่อยอากาศผสมเอทิลีนเข้าไป โดยความเข้มข้นของเอทิลีนที่ใช้ประมาณ 50-100 ส่วนต่ออากาศล้านส่วน แล้วใช้เวลาบ่มประมาณ 24-48 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25-30 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 90 เปอร์เซ็นต์ วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการบ่มผลมะม่วง ทำให้ได้ผลมะม่วงสุกอย่างสม่ำเสมอ

สำหรับประเทศไทยไม่สามารถใช้ห้องบ่มดังกล่าวได้เพราะมีค่าใช้จ่ายสูง จึงมีการดัดแปลงนำถ่านแก๊ส หรือแคลเซียมคาร์ไบด์ (calcium carbide) มาใช้ในการบ่มผลมะม่วง โดยทุบถ่านแก๊สเป็นก้อนเล็กๆ ห่อกระดาษหนังสือพิมพ์สอดกระจายไว้ภายในภาชนะที่ใช้บ่ม เมื่อไอน้ำที่ได้จากการคายน้ำของผลมะม่วงมากระทบกับถ่านแก๊สจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้เป็นแก๊สอะเซทิลีนออกมา ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

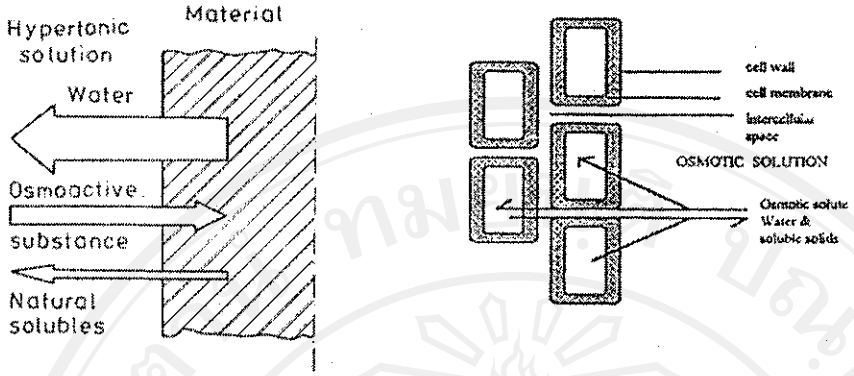
แก๊สนี้มีคุณสมบัติคล้ายเอทิลีน จึงเร่งให้ผลไม้สุกได้เช่นกัน แต่แก๊สอะเซทิลีนนี้จะเฉื่อยกว่าแก๊สเอทิลีนมาก จึงต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่าเอทิลีนอย่างน้อย 100 เท่า (วิจิตร, 2529)

ปัจจุบันได้มีการนำสารเอทีฟอน (ethephon) ซึ่งสามารถปลดปล่อยเอทิลีนได้เช่นกัน หากอยู่ในสารละลายที่เป็นกรดจะไม่มีการสลายตัว แต่เมื่อนำมาผสมน้ำจะทำให้ความเป็นกรดลดลง และเริ่มสลายตัวเป็นแก๊สเอทิลีนออกมา จากคุณสมบัตินี้จึงทำให้มีการใช้เอทีฟอนในการบ่มผลไม้หลายชนิดรวมทั้งมะม่วงด้วย แต่สารนี้จะถูกดูดซึมเข้าไปในผลไม้แล้วจึงปล่อยแก๊สเอทิลีนออกมา ซึ่งไม่เพียงเฉพาะเอทิลีนเท่านั้น หากยังมีสารบางส่วนตกค้างอยู่ในผลไม้ด้วย ทั้งนี้ยังไม่มีรายงานที่แน่ชัดว่าเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคหรือไม่ และในต่างประเทศไม่นิยมใช้สารนี้ในการบ่มผลไม้เช่นกัน เพียงแต่ใช้พ่นก่อนเก็บเกี่ยวเพื่อเร่งการแก่และการเปลี่ยนสีของผลไม้เท่านั้น

ออสโมติกดีไฮเดรชัน (osmotic dehydration)

เป็นการทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส (osmosis) ซึ่งเป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากอาหาร (partially dehydration) โดยการแช่ชิ้นอาหารลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (hypertonic solution) หรือสารละลายที่มีค่า a_w ต่ำกว่าอาหาร ทำให้เกิดการออสโมซิสขึ้นทันที เพราะความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอกเกิดเป็นแรงขับดัน (driving force) และศักย์ทางเคมี (chemical potential) ทำให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างอาหารและสารละลายภายนอก น้ำที่อยู่ภายในอาหารจะซึมผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออกมาในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ขณะเดียวกันตัวถูกละลายในสารละลายจะซึมผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป การแพร่ของน้ำจากภายในอาหารและตัวถูกละลายในสารละลายเข้มข้นภายนอกเกิดขึ้นพร้อมกันแต่ในทิศทางตรงกันข้าม (counter-current diffusion) และกระบวนการนี้ไม่มีการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ปริมาณน้ำในอาหารจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงแรก เพราะมีความแตกต่างของแรงดันออสโมติกอย่างมาก และอาหารมีความต้านทานต่อการถ่ายเทมวลสารไม่มาก ส่วนช่วงเวลา 2-6 ชั่วโมงต่อมา การแพร่ของน้ำจะลดลง อัตราการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าไปในเนื้อเยื่อของอาหารช้ากว่าการแพร่ของน้ำ จึงทำให้ตัวถูกละลายส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณผิวหน้าของชิ้นอาหาร การออสโมซิสจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งสารละลายเจือจางลง อัตราการถ่ายเทมวลสารลดลง และระบบปรับเข้าสมดุล วิธีนี้ทำให้ชิ้นอาหารเปลี่ยนแปลงปริมาตรและหดตัว มวลของตัวถูกละลายในชิ้นอาหารเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาในการทำออสโมติกดีไฮเดรชันควรจะสั้น คือ ให้น้ำถูกกำจัดออกมากที่สุด โดยให้มีการดูดซึมตัวถูกละลายได้น้อยที่สุด (รัตนาและพิไลรัก, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.2 กระบวนการถ่ายเทมวลสารระหว่างเนื้อเยื่ออาหารกับสารละลายออสโมติกขณะเกิดการออสโมซิส
(ที่มา: Lewicki and Lenart, 1995 และLazarides, 2001)

ออสโมซิส เป็นการแพร่ของตัวทำละลายผ่านเมมเบรนที่มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (differentially permeable membrane) โดยเมมเบรนนี้จะยอมให้ตัวทำละลายและตัวถูกละลายบางชนิดผ่าน การแพร่ของไอออนหรือโมเลกุลของสารจากภายนอกเข้าสู่เซลล์หรือจากภายในเซลล์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยอิสระ เนื่องจากมีเมมเบรนเป็นตัวขวางกั้นการเคลื่อนที่ของน้ำหรือตัวทำละลายผ่านเมมเบรนจากค่าพลังงานอิสระหรือวอเตอร์โพเทนเชียลสูงไปยังที่มีค่าพลังงานอิสระหรือวอเตอร์โพเทนเชียลต่ำกว่านี้ เรียกว่า ออสโมซิส (สมบุญ, 2548)

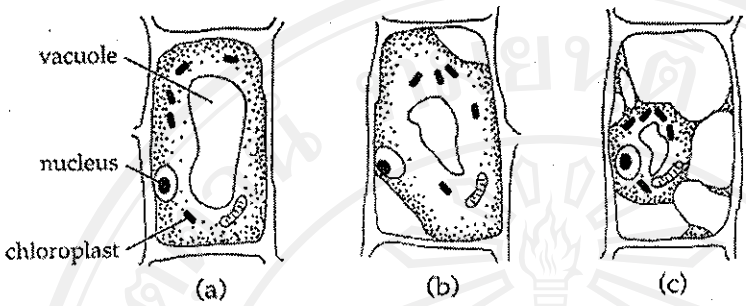
น้ำบริสุทธิ์มีค่าวอเตอร์โพเทนเชียลสูงสุดเท่ากับศูนย์ เมื่อมีตัวถูกละลายปนอยู่ในน้ำค่าวอเตอร์โพเทนเชียลจะลดลง ค่าวอเตอร์โพเทนเชียลที่ลดลงนั้นเนื่องจากมีตัวถูกละลายปนอยู่ เรียกว่า ออสโมติกโพเทนเชียล (osmotic potential, Ψ_π) (สมบุญ, 2548)

ในเซลล์พืชซึ่งเกิดปรากฏการณ์ของน้ำไหลเข้าเซลล์แบบออสโมซิส จะเกิดแรงดันภายในเซลล์ดันออกข้างนอกทำให้เซลล์เต่ง เรียกว่า แรงดันเต่ง (turgor pressure) แต่ผนังเซลล์จะเกิดแรงดันในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันเต่ง เรียกว่า แรงดึงจากผนังเซลล์ (wall pressure) เป็นแรงที่เกิดในทิศทางที่บีบน้ำออกจากเซลล์ทำให้เซลล์พืชไม่แตก ออสโมซิสจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุล คือ ค่าวอเตอร์โพเทนเชียลทั้งภายในและภายนอกเท่ากัน ซึ่งค่าแรงดันเต่งจะเท่ากับค่าแรงดึงจากผนังเซลล์ แรงดันทั้งสองนี้จะช่วยทำให้เซลล์มีรูปร่างที่แน่นอน (สมบุญ, 2548)

ถ้านำเซลล์ใส่ลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เช่น น้ำเกลือหรือน้ำเชื่อม น้ำจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการสูญเสียน้ำ แวคคิวโอมีขนาดเล็กลง โพรโทพลาสต์จะหดตัวจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนังเซลล์ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า พลาสมอไลซิส (plasmolysis) (สมบุญ, 2548) ดังแสดงในภาพ 2.3 (a), (b) และ (c) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ตามลำดับ



ภาพ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของเซลล์พืชในสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ
(ที่มา: http://northonline.sccd.ctc.edu/bio200s/bio201/201diffusionlab.html)

ข้อดีของการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน (รัตนาและพิไลรัก, 2541)

1. เมื่อนำผลไม้มาผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันก่อนนำไปอบแห้งจะช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและช่วยประหยัดพลังงาน
2. ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เมื่อนำไปอบแห้งจะทำให้ได้ผลไม้อบแห้งที่มีรสชาติดีขึ้น เนื่องจากระหว่างการทำออสโมซิส ตัวถูกละลายบางส่วน (เช่น กรดอินทรีย์ เกลือ หรือน้ำตาล) ที่มีอยู่ในผลไม้จะออสโมซิสออกไปกับน้ำด้วย
3. ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่ผลไม้ระหว่างการทำออสโมติกดีไฮเดรชันสูงมาก จนทำให้เอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลไม้ทำงานช้าลง เป็นผลให้สีของผลไม้ไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
4. ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง เป็นผลให้กลิ่นของผักผลไม้คงอยู่มากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน (รัตนาและพิไลรัก, 2541)

1. อุณหภูมิ

ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน หากเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้แช่ให้สูงขึ้นประมาณ 30-50 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการออสโมซิสเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น เป็นผลให้อัตราการสูญเสียน้ำของชิ้นผลไม้เพิ่มขึ้น หากเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายให้สูงเกิน 70 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำและการซึมผ่านของตัวถูกละลายเข้าไปในผลไม้เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อลักษณะเนื้อของผลไม้

2. การกวนหรือการคน

การกวนหรือการคนสารละลายที่ใช้แช่ระหว่างการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน เพื่อรักษาความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่ให้มีความสม่ำเสมอเท่ากันทั้งหมด โดยเฉพาะบริเวณรอบๆ ชิ้นผลไม้ อัตราการออสโมซิสของสารละลายที่มีการคนตลอดเวลาจะเร็วกว่าของสารละลายที่ไม่ได้คน

3. อัตราส่วนของผลไม้กับสารละลายออสโมติก

อัตราส่วนของผลไม้กับสารละลายออสโมติกมีผลต่ออัตราการออสโมซิส เพราะหากอัตราส่วนของผลไม้ : สารละลายออสโมติกน้อยเกินไป จะมีผลให้ความเข้มข้นของสารละลายเจือจางลง ส่งผลให้แรงดันออสโมติกลดลงด้วย

4. ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกควรมีความเข้มข้นสูง เพราะความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกยิ่งสูง อัตราการสูญเสียน้ำยิ่งเพิ่มขึ้นและอัตราการแพร่เข้าของตัวถูกละลายยิ่งลดลง นอกจากความเข้มข้นแล้วยังพบว่า สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะลดการแพร่ของตัวถูกละลายและเพิ่มการสูญเสียน้ำเป็นผลให้น้ำหนักลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารออสโมติก

สารออสโมติก (osmotic substance) หรือ humectant เป็นสารเพื่อเพิ่มแรงดันออสโมติกให้แก่สารละลาย สารออสโมติกจะต้องมีค่า a_w ต่ำ เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ (รัตนาและพิไลรัก, 2541) ไม่มีพิษ ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร และมีคุณสมบัติในการเพิ่มแรงดันออสโมติกอย่างสูง โดยทั่วไปสารออสโมติกที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส แลกโทส กลูโคส ฟรักโทส มอลโตเดกซ์ตริน และ corn syrup นอกจากนี้ ยังมีการใช้น้ำตาลแอลกอฮอล์ เช่น กลีเซอรอลและเกลือโซเดียมคลอไรด์ อย่างไรก็ตาม การใช้เกลือจะไม่เป็นที่ยอมรับด้านรสชาติ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสเค็มมากเกินไป

สารละลายน้ำตาลซึ่งเป็นสารออสโมติกที่นิยมใช้มากที่สุดในการกำจัดน้ำออกจากผลไม้ โดยชนิดของน้ำตาลที่นิยมมากที่สุด คือ น้ำตาลซูโครส อาจมีการใช้น้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสบ้าง แต่ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำไม่มีความแตกต่างกัน บางครั้งอาจใช้สารละลายหลายชนิดร่วมกัน เช่น ในการทำแอปเปิลอบแห้ง มีการใช้น้ำตาลซูโครส 52 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับฟรักโทส 42 เปอร์เซ็นต์ มอลโทส 3 เปอร์เซ็นต์ โพลีแซกคาไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์ และเกลือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ กรดมาลิก กรดแลกติก และกรดไฮโดรคลอริก ที่ระดับความเข้มข้น 1-5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้น้ำตาลซูโครส สามารถปรับปรุงกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันได้ โดยจะช่วยให้น้ำออกจากเซลล์ได้เร็วขึ้น และการใช้แคลเซียมคลอไรด์และกรดมาลิกร่วมกับน้ำตาลซูโครส สามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของแอปเปิลแห้งได้ด้วย (Mujumdar, 1995)

ในระหว่างการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน หากเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายที่แช่สูงเกิน 70 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำและการซึมผ่านของตัวถูกละลายเข้าไปในเนื้อผลไม้เพิ่มขึ้นด้วย (รัตนาและพิไลรัก, 2541) สอดคล้องกับการทดลองของ Lazarides *et al.*(1995) ที่ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสในชิ้นแอปเปิล โดยแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 45-65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น จะเพิ่มปริมาณของแข็ง อัตราการสูญเสียน้ำ และมีอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียน้ำต่อของแข็งที่เพิ่มขึ้นลดลง แต่การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ในการทำแห้งชิ้นแอปเปิลโดยวิธีออสโมซิส ทำให้เกิดสีน้ำตาล และเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติ (Fito *et al.*, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับการลดปริมาณน้ำในมะม่วงแก้วโดยกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันนั้น ไพโรจน์และคณะ (2544) ได้พัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแก้วอบแห้ง โดยศึกษาสูตรของสารละลาย ระยะการสุก ความหนาของชิ้นมะม่วง เวลาการแช่ที่เหมาะสม และวิธีการแช่ พบว่าสูตรที่เหมาะสม คือ สัดส่วนของน้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซอร์เบต และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เท่ากับ 55, 45, 1.5, 0.15, 0.25 และ 0.25 กรัม ตามลำดับ ต่อน้ำ 100 กรัม ส่วนผลมะม่วงที่มีระยะการสุกเหมาะสมจะมีสัดส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่อกรดเท่ากับ 20.72 ภายหลังการบ่มด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ในอัตราส่วน 10 กรัมต่อมะม่วง 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อหั่นหนา 0.5 เซนติเมตร แล้วแช่ในสารละลายเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยแช่แบบมีการกวนสารละลายจะทำให้ได้มะม่วงอบแห้งดีที่สุด ซึ่งแตกต่างจากงานทดลองชิ้นอื่นที่ใช้สารละลายออสโมติกเพียงชนิดเดียว คือ น้ำตาล เช่นการทดลองของ Varanyanond and Wongkrajang (2002) ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่มีต่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันของมะม่วงแก้วที่อุณหภูมิ 30–70 องศาเซลเซียส สารละลายน้ำตาล 50–70 องศาบริกซ์ และระยะเวลาในการแช่ 2–6 ชั่วโมง พบว่าการแช่ในสารละลายน้ำตาล 60 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ให้ผลดีและเหมาะสมที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Madamba and Lopez (2002) ที่ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ต่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันของมะม่วง โดยศึกษาความหนา (3, 5 และ 7 มิลลิเมตร) ความเข้มข้นของน้ำตาล (40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการแช่ (2, 4 และ 6 ชั่วโมง) ผลการทดลองพบว่า ความหนาของเนื้อมะม่วงที่ 5 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาล 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ผลดีที่สุด ผ่านการรับรองแล้วโดยมีความหวานเพิ่มขึ้น 26.5 เปอร์เซ็นต์

ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายและปริมาณน้ำตาลในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันของมะม่วงพันธุ์เคนท์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยมีสารละลายน้ำตาล 35, 45, 55 และ 65 องศาบริกซ์ ที่ความดันบรรยากาศและความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที พบว่าสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 45 องศาบริกซ์ ทำให้สูญเสียปริมาณน้ำตาลและน้ำออกจากเนื้อมะม่วงสูงมาก (Giraldo *et al.*, 2003)

นอกจากนี้ ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และระยะการสุก ก็มีผลต่อกระบวนการออสโมซิสเช่นกัน เช่น พบว่าชิ้นสับปะรดทำแห้งได้รวดเร็วกว่าชิ้นมะละกอและมะม่วง เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างเซลล์ และเยื่อหุ้มเซลล์แตกต่างกัน ผลไม้สุกจะทำได้รวดเร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่หากสุกเกินไปจะทำให้เนื้อของผลไม้เละและผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลง นอกจากนั้น รูปร่างและขนาดของชิ้นผลไม้ก็มีผลต่ออัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร หากอัตราส่วนนี้สูงจะทำให้น้ำซึมออกมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้เร็วขึ้น และชิ้นผลไม้ที่มีรูปร่างกลมทำให้น้ำซึมออกมาได้น้อยกว่ารูปร่างที่เป็นแท่ง (Cohen, 1999) เช่น การทดลองของ Ravindran (1989) ที่ได้ศึกษาคุณลักษณะของชิ้นสับปะรดอบแห้ง ทั้งแบบวง (ring) และแบบลูกเต๋า (cube) ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างกัน และสารละลายน้ำตาลร่วมกับเกลือ พบว่ารูปร่างของชิ้นสับปะรดแบบลูกเต๋า มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์สุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กฎของฟิกค์ (Fick's law) (เมธินี, 2542)

เมื่อมีสาร A และสาร B แล้ว สาร A แพร่ซึมไปหาสาร B เนื่องจากผลต่างความเข้มข้น ซึ่งปริมาณสาร A ที่เคลื่อนที่จะเป็นไปตามกฎข้อที่หนึ่งของฟิกค์ นั่นคือ

$$J_A = -D_{AB}\frac{dC_A}{dZ} \qquad (1)$$

เมื่อ J_A = ปริมาณโมลของสาร A ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพันธ์ (molar flux, lbmole/ft^2-s)

D_{AB} = ความสามารถในการแพร่ซึมมวลสารของสาร A ในสาร B (mass diffusivity, ft^2/s หรือ cm^2/s)

$\frac{dC_A}{dZ}$ = ผลต่างความเข้มข้นของสาร A ในระยะทางที่ห่างกัน dz

หรืออีกนัยหนึ่ง คือ เกรเดียนของความเข้มข้น (concentration gradient)

สมการที่ (1) ใช้เพื่อศึกษาค่า diffusion ของแก๊ส ของเหลว และของแข็ง

กรณีของออสโมติกดีไฮเดรชันเป็นการแพร่ซึมที่โมเลกุลของสารแพร่ซึมผ่านช่องว่างหรือรูพรุนของอาหาร

การแพร่ในโครงสร้าง insensitive ใช้หลักการที่ตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกละลายอยู่ในรูปเดียวกับสารละลายในของแข็ง ซึ่งจะแพร่เข้าไปแทนที่ด้วยความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราการแพร่ซึมของสารผ่านชั้นของแข็งเป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของฟิกค์ ดังสมการที่ (1) ในสภาวะคงตัว และ D_{AB} มีค่าคงที่ จะได้สมการดังนี้

$$N_A = D_{AB}\frac{(C_{A1} - C_{A2})}{Z} \quad ; N_A = J_A \tag{2}$$

เมื่อ C_{A1}, C_{A2} = ความเข้มข้นของ A ที่ผิวหน้าแต่ละด้านของของแข็ง

Z = ความหนาของของแข็ง

โดยทั่วไปการแพร่ซึมในของแข็งจะเกิดขึ้นในสภาวะไม่คงตัว นั่นคือ ความเข้มข้นของสารนอกจากจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งแล้วยังขึ้นอยู่กับเวลาอีกด้วย ซึ่งเป็นไปตามกฎการแพร่ข้อที่ 2 ของฟิกค์ โดยมีรูปแบบเดียวกันกับกฎของ Fourier ในเรื่องการถ่ายเทความร้อนนั่นเอง ดังสมการที่ (3)

$$\frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_{AB}\left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial Z^2}\right) \tag{3}$$

กรณีของแผ่นบาง (slab) ลักษณะการแพร่ซึมจะเป็นการแพร่ซึมผ่านผิวหน้าที่อยู่ตรงข้ามกันเพียง 2 ด้าน จะได้สมการดังนี้

$$E = \frac{C_{A\theta} - C_{A\infty}}{C_{A0} - C_{A\infty}} = f\left(\frac{D\theta}{a^2}\right) = E_a \tag{4}$$

กำหนดให้ $\frac{D\theta}{a^2} = \tau$ จะได้;

$$E = \frac{8}{\pi^2}\left[\exp\left(-\frac{\pi^2}{4}\cdot\tau\right) + \frac{1}{9}\exp\left(-9\frac{\pi^2}{4}\cdot\tau\right) + \frac{1}{25}\exp\left(-25\frac{\pi^2}{4}\cdot\tau\right) + K\right] \tag{5}$$

เมื่อ $C_0, C_{A\theta}$ = ความเข้มข้นของสาร A เฉลี่ยที่เวลาเริ่มต้น และเวลา θ ตามลำดับ

$C_{A\infty}$ = ความเข้มข้นของสาร A ที่ผิวหน้าของแข็งซึ่งจะคงที่ไม่เปลี่ยนตามเวลา

$2a$ = ความหนาแน่นของแผ่นบาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

D = ความสามารถในการแพร่ซึมของสาร A ผ่านของแข็ง
ซึ่งเป็นค่าคงที่ของแต่ละสภาวะ

E_a = พลังงานกระตุ้น (activation energy, kJ/mol)

กรณีของของแข็งที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความหนา 2a และความกว้าง 2b การแพร่ซึมผ่านผิวหน้าที่ตรงข้ามกัน 2 คู่ (4 ด้าน) จะได้

$$E = f\left(\frac{D\theta}{a^2}\right) \cdot f\left(\frac{D\theta}{b^2}\right) = E_a E_b \qquad (6)$$

กรณีที่รูปร่างเป็นก้อนอิฐขนาด 2a x 2b x 2c การแพร่ซึมผ่านผิวหน้าที่ตรงข้ามกันทั้ง 3 คู่ (6 ด้าน) จะได้

$$E = f\left(\frac{D\theta}{a^2}\right) \cdot f\left(\frac{D\theta}{b^2}\right) \cdot f\left(\frac{D\theta}{c^2}\right) = E_a E_b E_c \qquad (7)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง E กับ τ ของวัตถุรูปทรงต่างๆ แสดงดังภาพ 2.4

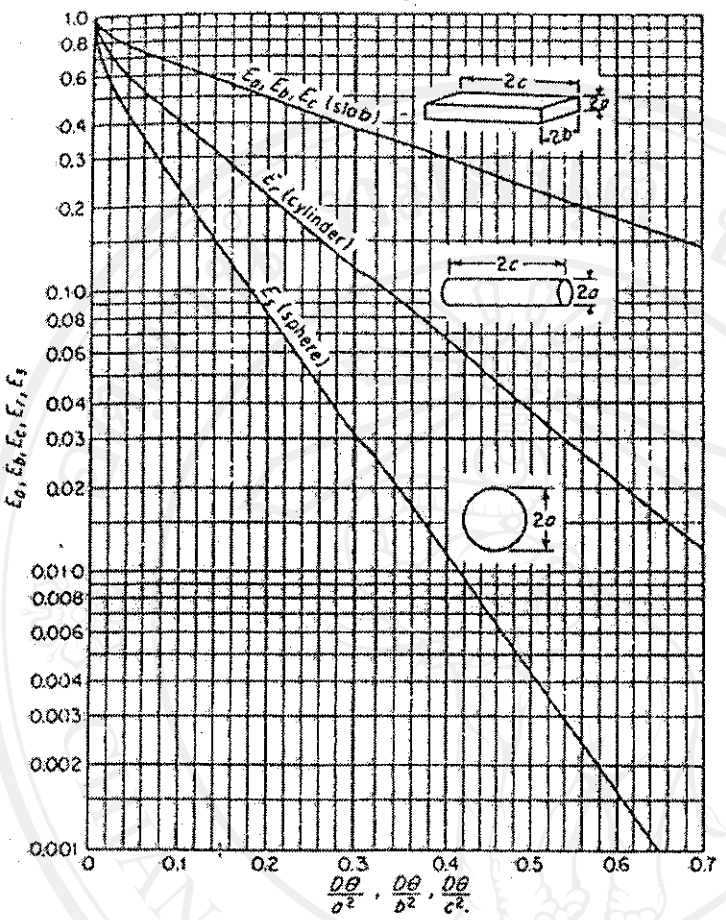
ถ้าวัตถุมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 2a การแพร่ซึมผ่านผิวหน้าวงกลมอย่างเดียว จะได้

$$E = f\left(\frac{D\theta}{a^2}\right) = E_r \qquad (8)$$

ถ้าวัตถุมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 2a และ 2c การแพร่ซึมเกิดขึ้นที่ผิวหน้าโดยรอบ จะได้

$$E = f\left(\frac{D\theta}{a^2}\right) \cdot f\left(\frac{D\theta}{c^2}\right) = E_r E_c \qquad (9)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง E กับ τ ของวัตถุรูปทรงต่างๆ
(ที่มา: เมธินี, 2542)

ถ้าวัตถุมีรูปร่างเป็นทรงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2a การแพร่ซึมผ่านโดยรอบ จะได้

$$E = f\left(\frac{D\theta}{a^2}\right) = E_s \qquad (10)$$

การประยุกต์ใช้กฎของฟิกค์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ปกติแล้วจะสมมติให้เกิดการแพร่ซึมเพียงทิศทางเดียว มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ และมีการเคลื่อนที่ของความชื้นภายใน ขณะที่ตัววัตถุต้านทานต่อการถ่ายเทความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การหาสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) หาได้จากการพล็อตข้อมูลการทำแห้งในเทอมของ ln E กับเวลา ความชันของเส้นตรงจะเท่ากับสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย สำหรับรูปทรงแผ่นบาง หาค่า E ได้จากสมการที่ 11

$$E = \frac{m - m_s}{m_0 - m_s} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp\left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{D_{eef} t}{L^2}\right] \qquad (11)$$

เมื่อ m = ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ

m_0 = ปริมาณความชื้นเริ่มต้น

m_s = ปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าซึ่งจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

D_{eef} = สัมประสิทธิ์การแพร่ (m^2/s)

t = เวลา (s)

L = ความหนาครึ่งหนึ่งของ slab (m)

ตามเอกสารของ Lazarides *et al.* (1997) ได้คำนวณค่า diffusivity ของน้ำและตัวถูกละลายตามกฎข้อ 2 ของฟิกค์ ดังนี้

$$\ln \frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{D_e t \pi^2}{\lambda^2} \qquad (12)$$

โดย $\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = E$

เมื่อ x, x_e = ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ และที่เริ่มต้น ตามลำดับ

s, s_0 = ปริมาณตัวถูกละลายที่เวลาใดๆ และที่เริ่มต้น ตามลำดับ

x_e, s_e = ปริมาณความชื้นและตัวถูกละลายที่สมดุล ตามลำดับ

D_e = สัมประสิทธิ์การแพร่

λ = hydrauric diameter

hydrauric diameter (λ) หาได้จาก

$$\lambda = 4R_h \qquad (13)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ $R_h = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับการไหล (area)}}{\text{เส้นรอบรูปที่เปียก (wetted parameter)}}$ (14)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในสมการของฟิกค์นั้นมีหน่วยเป็นระยะทางกำลังสองหารด้วยเวลา คือ ตารางเซนติเมตรต่อวินาที หรือ ตารางเมตรต่อวินาที (ระบบ SI) และมีหน่วยเป็นตารางฟุตต่อชั่วโมง ในหน่วยอังกฤษ

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิ และส่วนประกอบของระบบ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแตกต่างกันจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สมีค่าอยู่ในช่วง $5x10^{-6}$ ถึง $1x10^{-5}$ ตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าสูงกว่าของเหลวที่มีค่าอยู่ในช่วง 10^{-10} ถึง 10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที และมีค่าสูงกว่าของแข็งที่มีค่าอยู่ในช่วง 10^{-14} ถึง 10^{-10} ตารางเมตรต่อวินาที หากไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ได้จากการทดลอง ก็สามารถหาได้จากกึ่งทดลอง ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น (เมธินี, 2542)

การทำแห้ง (มาลัยวรรณและคณะ, 2545; วิไล, 2545)

การทำแห้ง หมายถึง การลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ให้อยู่ในระดับต่ำพอที่จะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเสื่อมเสีย และยังช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหารจากปฏิกิริยาเคมีและกิจกรรมของเอนไซม์ การทำแห้งจึงเป็นกระบวนการที่ใช้ถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น และยังสะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา เนื่องจากอาหารมีปริมาตรและน้ำหนักลดลง

โดยทั่วไปการลดความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งวัสดุ โดยการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุ และการถ่ายเทมวลจากวัสดุไปยังอากาศจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการระเหยน้ำออกจากผิววัสดุ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ (constant drying rate) หากอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมากแล้ว อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำลดลง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง (falling drying rate) ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เรียกว่า ความชื้นวิก ฤติ (critical moisture content)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุทางการเกษตรส่วนใหญ่มักมีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ซึ่งสามารถแบ่งช่วงอัตราการอบแห้งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง

ในช่วงแรกของการอบแห้งวัสดุที่มีความชื้นสูงจะมีอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งจะเกิดขึ้นกับวัสดุที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของวัสดุออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้าวัสดุ ทำให้ผิวหน้ายังเปียกอยู่ พารามิเตอร์ของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการอบแห้งวัสดุ ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอัตราการอบแห้งในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสอากาศภายนอก ความแตกต่างของความชื้นระหว่างอากาศกับพื้นผิวที่มีความชื้น สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวล และความเร็วลม

ส่วนอัตราการอบแห้งลดลงจะเกิดขึ้นภายหลังอัตราการอบแห้งคงที่ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะไม่เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเนื้อวัสดุมายังที่ผิวจะช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง

ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (ไพบูลย์, 2532; รุ่งนภา, 2535)

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของอาหารเกือบทุกชนิด คือ มีน้ำประมาณ 65-95 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวมของอาหาร อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจะเสื่อมเสียได้รวดเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและเคมี น้ำในอาหารจะเป็นตัวทำละลายองค์ประกอบต่างๆ ของอาหาร สถานะของน้ำและลักษณะการกระจายตัวของน้ำในอาหารเป็นสิ่งสำคัญ เพราะหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหรือการกระจายตัวของน้ำจะมีผลต่อคุณสมบัติหรือการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ไพบูลย์, 2532)

น้ำที่เป็นอิสระ หรือ a_w หมายความถึงน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้สำหรับการเจริญได้ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของความดันไอ (vapor pressure) ของสารละลายในอาหารต่อความดันไอของตัวทำละลาย (น้ำ) (ไพบูลย์, 2532) และค่านี้จะสอดคล้องกับค่าปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ (รุ่งนภา, 2535)

$$a_w = \frac{\text{ความดันไอของน้ำในอาหาร}}{\text{ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน}} \qquad (15)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

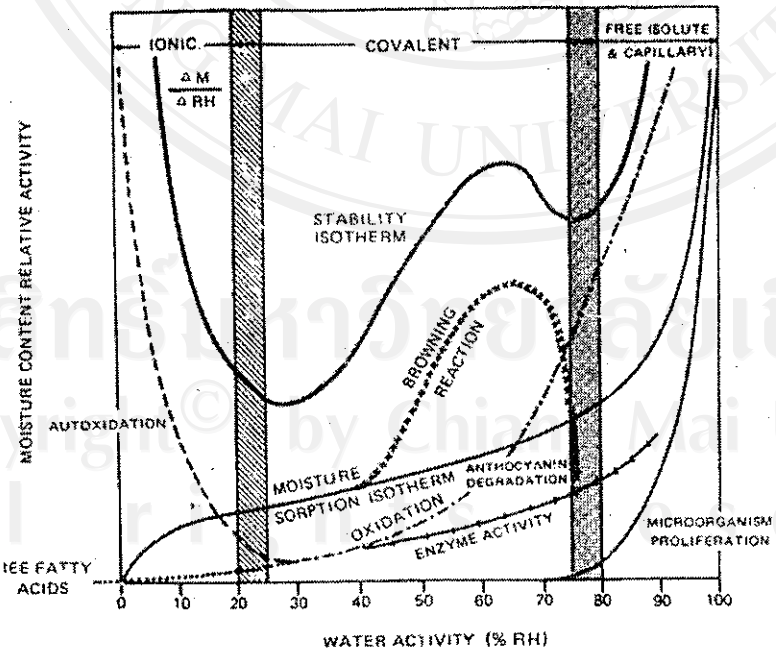
ค่า a_w วัดเป็นความชื้นสัมพัทธ์สมดุล คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่สัมผัสกับบรรยากาศขณะที่ไม่มีการดูดซับหรือคายน้ำ (desorption) เกิดขึ้น

$$a_w = ERH/100 \quad (16)$$

เมื่อ Equilibrium Relative Humidity (ERH) = ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (เปอร์เซ็นต์)

การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นเร็วกว่าปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ หรือปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษา แต่ในทุกกรณีน้ำจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ควบคุมอัตราการเสื่อมเสีย แบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีในอาหารที่มี a_w และมีความเข้มข้นของเกลือและน้ำตาลต่ำ จุลินทรีย์ต่างชนิดกันต้องการค่า a_w ขั้นต่ำสำหรับการเจริญแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2.3

ในเรื่องอาหารแห้งจำเป็นต้องเน้นการวัดปริมาณความชื้นสมดุลอย่างมาก เนื่องจากค่า a_w มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาอาหาร ผลการศึกษาวิจัยพบว่าปฏิกิริยาหลายอย่างและการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้นภายในช่วงของค่า a_w ที่แน่นอนช่วงหนึ่ง ดังภาพ 2.5 ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงอิทธิพลของ a_w ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เอนไซม์ และจุลินทรีย์



ภาพ 2.5 แผนภาพแสดงอิทธิพลของ a_w ต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารจากปัจจัยต่างๆ (ที่มา: Rockland and Nishi, 1980)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากค่า a_w จะชี้บ่งถึงความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต่อปฏิกิริยาการเสื่อมเสียต่างๆ แล้ว ปริมาณความชื้นสมดุลยังเป็นขีดจำกัดขั้นต่ำของความแตกต่าง (gradient) ในการกำจัดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ และสามารถทำนายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะให้ปริมาณความชื้นสมดุลที่ต่ำลง

ตาราง 2.3 ความสัมพันธ์ของ a_w ขั้นต่ำสุดกับการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

ประเภทของจุลินทรีย์	**ระดับ a_w ขั้นต่ำ**
แบคทีเรีย	0.90
ยีสต์	0.88
รา	0.80
แบคทีเรียที่สามารถทนความเข้มข้นของเกลือสูง	0.75
แบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ	0.75
ยีสต์ที่สามารถทนสภาพแห้งแล้งได้ดี	0.61
ยีสต์ที่สามารถทนความเข้มข้นของน้ำตาลสูง	0.60
ราที่สามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี	0.61
Achromobacter	0.96
Aerobacte aerogenes	0.95
Bacillus subtilis	0.95
Clostridium botulinum	0.95
Escherichi coli	0.96
Pseudomonas	0.97
Staphylococcus aureus	0.86
Saccharomyces rouxii	0.62
Salmonella	0.95

ที่มา: ดัดแปลงจาก พรพล (2545) และปรียาและสุดสาย (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง (สุคนธ์ชื่น, 2546)

การทำแห้ง คือ การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยใดๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่ออัตราเร็วการทำแห้ง ได้แก่

1. ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูง น้ำตาลจะดูดน้ำได้ดี ทำให้น้ำเคลื่อนที่ระเหยออกมาได้ช้า จึงแห้งช้า และอาหารที่มีการลวก หรือนวดคลึงที่ทำให้เซลล์แตกก่อนนำไปอบแห้งจะแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างที่เหมือนกัน อาหารที่มีชิ้นขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารที่มีชิ้นขนาดใหญ่ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกัน การระเหยจะเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่มีพื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา

อาหารที่อยู่ส่วนล่างจะสัมผัสกับอากาศร้อนได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณตรงกลางถาดที่ความร้อนเข้าไปไม่ถึง ความชื้นจึงระเหยออกมาได้ยาก

4. ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้ จึงแห้งได้ช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อย จึงมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

7. ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไป เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายไอน้ำได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นได้เต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน (สมศักดิ์, 2528; รุ่งนภา, 2535; Hovmand, 1995)

ปัจจุบันการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันกำลังเป็นที่นิยมในหลายประเทศ โดยเฉพาะการอบแห้งผลิตผลทางพืชไร่ ซึ่งการใช้เทคนิคนี้จะมีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้สำหรับเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูง เช่น ข้าวเปลือก ข้าวโพด และถั่วเหลือง เป็นต้น

ฟลูอิดไดเซชัน ใช้อธิบายกระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้นเมื่อสัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งเหล่านี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดหรือชิ้นของแข็งดังกล่าวซึ่งเดิมจะถูกวางไว้บนตะแกรงในหอทดลองที่มักจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ปัจจุบันนี้มีการดัดแปลงให้มีรูปร่างตามแนวนอน ของไหลที่ใช้ คือ แก๊สหรือของเหลว ปล่อยให้ผ่านมาทางด้านล่างของตะแกรงที่รองรับอนุภาคของแข็ง ของไหลจะไหลผ่านชั้นอนุภาคของแข็งนี้แล้วไหลออกทางส่วนบนของหอทดลอง เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดอนุภาคของแข็งจะขยับตัว และลอยขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน อนุภาคของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือ มีการไหลหมุนเวียนของอนุภาคของแข็งภายในเบดหรือภายในหอทดลอง จึงเรียกของแข็งในลักษณะนี้ว่า ฟลูอิดไดเซชัน (สมศักดิ์, 2528; Hovmand, 1995) แม้ว่าผลิตภัณฑ์จะลอยตัวอยู่ตลอดกระบวนการอบแห้ง ความเร็วลมที่ใช้พยุงอนุภาคให้ลอยตัวอยู่นั้นจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะขนาดและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปความเร็วลมที่ใช้อยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.75 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้อาจมีการใช้สายพานสั่นเพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์ลอยตัวอยู่ในอากาศได้ ทำให้ใช้ความเร็วลมน้อยลง (รุ่งนภา, 2535)

ขณะเกิดฟลูอิดไดเซชันจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับเรื่องกลศาสตร์ของไหล (fluid mechanic) การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) หรือการถ่ายเทมวล (mass transfer) ภายในฟลูอิดไดซ์เบดจึงมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การสัมผัสที่ดีระหว่างอนุภาคของแข็งและของไหล ทำให้มีประโยชน์เกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีและกระบวนการต่างๆ ทางอุตสาหกรรม หรือการนำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิด ซึ่งส่วนมากจะใช้ของไหลเป็นอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้น การใช้ฟลูอิดไดเซชันในอุตสาหกรรม ได้แก่ การขนส่ง (transportation) การทำแห้ง (drying) การผสม (mixing) การแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchange) การเคลือบ (coating) ปฏิกิริยาสังเคราะห์สาร และการแช่เยือกแข็ง (freezing) เป็นต้น

ฟลูอิดไดเซชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. ฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ (two-phase fluidization) หมายถึง ภายในหอทดลองหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยของสองสถานะ คือ ของแข็งและของไหล ของไหลนี้อาจเป็นแก๊สหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไดเซชันสองสถานะจึงแบ่งออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

1.1 ฟลูอิดไดเซชันแก๊ส (gas fluidization)

1.2 ฟลูอิดไดเซชันของเหลว (liquid fluidization)

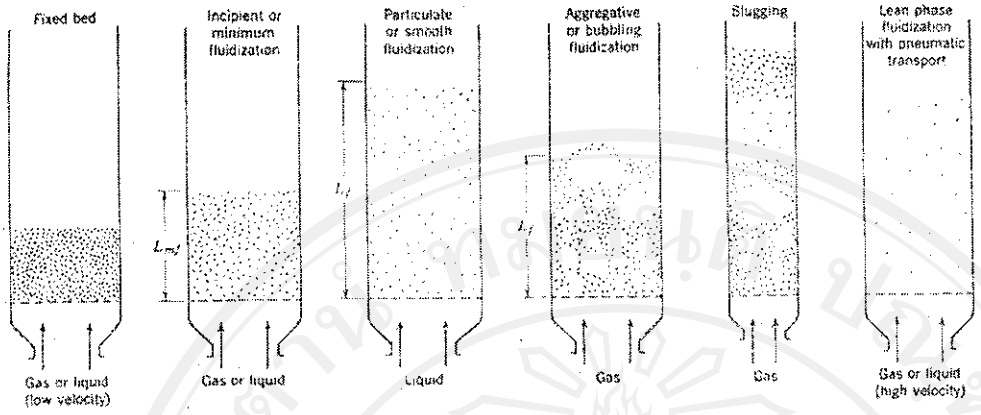
2. ฟลูอิดไดเซชันสามสถานะ (three-phase fluidization) หมายถึง ภายในหอทดลองหรือเบดจะประกอบด้วยสารทั้งสามสถานะอยู่รวมกัน คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

เบด (Bed) (สมศักดิ์, 2528)

เบด หมายถึง อาณาเขตในหอทดลองที่มีปริมาณอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าอนุภาคของแข็งจะหยุดนิ่งหรือเคลื่อนไหว เบดจะมีอาณาเขตตั้งแต่แผ่นโลหะที่เป็นตะแกรงรองรับหรือตัวกระจายของไหล (distributor) จนถึงผิวหน้าด้านบนของอนุภาคของแข็ง ดังภาพ 2.6

เมื่อเริ่มปล่อยของไหลที่มีความเร็วต่ำเข้าทางด้านล่างของหอทดลอง อนุภาคของแข็งจะไม่ขยับตัว ลักษณะของเบดเช่นนี้ เรียกว่า เบดนิ่ง (fixed bed) เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับหนึ่ง อนุภาคของแข็งจะเริ่มขยับตัวและจัดตัวอย่างเป็นระเบียบ จนกระทั่งอนุภาคของแข็งหลุดออกจากกันและลอยตัวเป็นอิสระ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า จุดเริ่มฟลูอิดไดเซชัน (incipiently fluidized bed หรือ bed at minimum fluidization)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

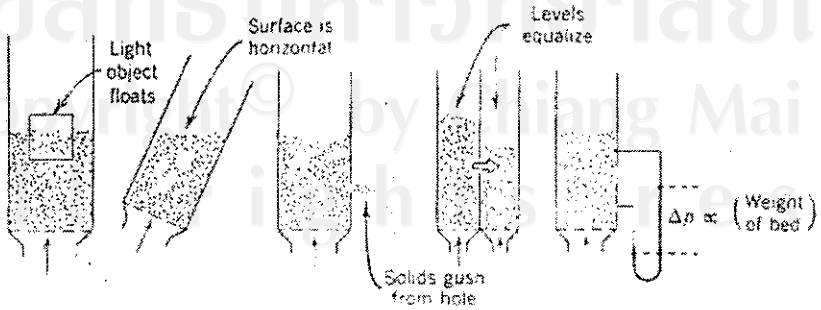


ภาพ 2.6 ลักษณะฟลูอิดไดซ์เบด

(ที่มา: Kunii and Levenspiel, 1969)

ลักษณะคล้ายของไหลของฟลูอิดไดซ์เบด

ในขณะที่อนุภาคของแข็งลอยตัวอยู่ในลักษณะฟลูอิดไดซ์เบด ผิวหน้าของเบดจะเรียบสม่ำเสมอเหมือนกับผิวหน้าของของไหลที่ใส่อยู่ในภาชนะ โดยเฉพาะถ้าเป็นฟลูอิดไดซ์เบดแบบเดียวกันหรือว่าจัดหอทดลองเอียงไปทางซ้ายหรือขวาก็ตาม ผิวหน้าของเบดจะยังเรียบอยู่เช่นเดิม หากนำวัตถุของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าอนุภาคของแข็งที่อยู่ในเบดใส่ลงไปในเบด วัตถุของแข็งนั้นจะลอยตัวอยู่บนผิวหน้าของเบด นอกจากนี้ถ้าเจาะรูด้านข้างของเบด อนุภาคของแข็งจะไหลออกมาจากรูนั้นได้เหมือนของเหลว หรือหากนำท่อมาต่อเบด 2 เบดให้ต่อกัน อนุภาคของแข็งจากเบดที่สูงกว่าจะไหลไปยังเบดที่มีความสูงน้อย ดังภาพ 2.7



ภาพ 2.7 ลักษณะคล้ายของไหลของฟลูอิดไดซ์เบด

(ที่มา: Kunii and Levenspiel, 1969; Hovmand, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นเทคนิคที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาจนประสบความสำเร็จในระดับหนึ่ง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางพาณิชย์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะผลิตผลทางพืชไร่ การอบแห้งแบบเก่าจะต้องเสียเวลาลดความชื้นถึง 24 ชั่วโมง ขณะที่หากใช้เครื่องอบข้าวแบบฟลูอิดไดซ์เบดแล้วจะลดเวลาการอบแห้ง จนสามารถนำไปเก็บในยุ้งฉางได้ในเวลาเพียง 4 ชั่วโมง อีกทั้งยังได้ปริมาณเมล็ดข้าวดีเพิ่มขึ้นอีก 5 เปอร์เซ็นต์ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2545: ระบบออนไลน์) ในขณะที่ Soponronnarit (2000) ได้สรุปว่าการอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดนั้นมีตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 140-150 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่เท่ากับ 0.8 ความเร็วลมประมาณ 2.0-2.3 เมตรต่อวินาที และความหนาของเบด 10-14 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อใช้ตัวแปรเหล่านี้ในการอบแห้งแล้ว ผลที่ได้ทั้งการยอมรับและรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการอบแห้งแบบเดิม แต่หลังจากอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันแล้วจะต้องมีการลดอุณหภูมิต่ออีก ผลการศึกษาของ Soponronnarit *et al.* (1999) หลังจากอบแห้งข้าวเปลือกด้วยฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที สามารถลดความชื้นจาก 33 เปอร์เซ็นต์ ลงมาถึง 19.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการลดอุณหภูมิ เพื่อทำให้เย็นลงอีก 30 นาที และทำการระบายอากาศ (อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55-60 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที) เป็นเวลา 20 นาที จนความชื้นลดลงเหลือ 16.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมล็ดข้าวเปลือกมีคุณภาพดี และเมื่อนำข้าวเปลือกมาสีแล้ว เมล็ดข้าวที่ได้มีสีขาวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

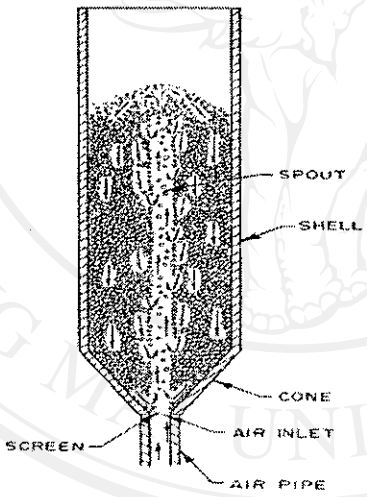
สำหรับการอบแห้งผลิตผลที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง เช่น ต้นหอม มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 93-94 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ให้มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 12-25 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก โดยการอบแห้งต้นหอมสับด้วยวิธีฟลูอิดไดเซชัน ที่ใช้อุณหภูมิช่วง 75-105 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลจำเพาะของอากาศระหว่าง 0.787-1.104 กิโลกรัมต่อวินาทีของกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ผลการทดลองพบว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน มีค่าประมาณ 1.36, 1.20 และ 0.95 เมตรต่อวินาที ณ ความชื้นเริ่มต้น 95, 71 และ 56 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ส่วนการทดลองในด้านสีของผลิตภัณฑ์ควรใช้อุณหภูมิในการอบแห้งไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีสีเขียวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (วิชัย, 2540)

ผลการศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งพริกเขียวและพริกแดง ที่หั่นเป็นชิ้นมีความหนา 1.5 และ 2.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศร้อน 0.5, 1.8, 2.5, 4.1 และ 4.5 เมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อใช้ความเร็วอากาศร้อนป้อนเข้าสูงขึ้นจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นผลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่ป้อนเข้า คือ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วของอากาศร้อนที่ 4.1 เมตรต่อวินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าเมื่อป้อนอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลงเร็วขึ้นและสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งได้อีกด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งอุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่ป้อนเข้ามีผลต่อการอบแห้งพริกเขียวและพริกแดง (Kaymak-Ertekin, 2002)

อย่างไรก็ตาม อนุภาคของแข็งตามธรรมชาติมักมีรูปร่างที่แปลกและแตกต่างกันออกไป ซึ่งการนำมาผ่านกระบวนการของฟลูอิดไดเซชันธรรมดานั้นทำได้ยาก โดยแก๊สมักจะผ่านขึ้นมาบนเบดเป็นช่อง หรือหากเกิดแล้วมักเกิดอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเบด ดังนั้น สเปาเต็ดเบด (spouted bed) ซึ่งเป็นเทคนิคของฟลูอิดไดเซชันชนิดหนึ่ง จึงเป็นอีกวิธีที่จะใช้ได้ดีกับวัตถุที่มีรูปร่างแปลกออกไป วัตถุจะเคลื่อนที่ขึ้นลงภายในเบดอย่างรุนแรงเสมือนกับมีเครื่องกวนอยู่ในเบดด้วย โดยแก๊สจะผ่านขึ้นมาด้วยความเร็วสูงในลักษณะของเจ็ด (jet) ขึ้นมาในแนวดิ่ง มาชนกับอนุภาคของแข็งทำให้อนุภาคของแข็งขยับและลอยตัวขึ้นไปตามกระแสของเจ็ดอย่างรวดเร็ว เมื่อขึ้นมาได้ระยะหนึ่งก็จะตกลงไปทางด้านข้างรอบผนังของหอทดลอง ดังแสดงในภาพ 2.8



ภาพ 2.8 ลักษณะการเกิดสเปาเต็ดเบด
(ที่มา: Hovmand, 1995)

ภายในสเปาเต็ดเบดจะประกอบด้วยโซน 2 โซน คือ โซนที่เป็นเบดเบาบางโดยเป็นบริเวณที่อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ขึ้นและโซนที่เป็นเบดหนาแน่น โดยบริเวณนี้อนุภาคของแข็งจะอยู่รอบผนังของหอทดลองซึ่งจะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง (สมศักดิ์, 2528)

ระบบฟลูอิดไดซ์ รวมถึงสเปาเต็ดเบดนั้นสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้มากกว่าการอบแห้งแบบถาด (tray drying) จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบเพิ่มมากขึ้นด้วย (Grabowski *et al.*, 2002: online)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดเหมาะสำหรับวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน เช่น ผลิตผลทางการเกษตร โดยสามารถใช้ความเร็วลมของของไหล (แก๊ส) ที่อุณหภูมิสูงในการอบแห้งได้มากกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด นอกจากนี้คุณสมบัติพิเศษของสเปาเต็ดเบดอีกประการหนึ่ง คือ สามารถอบแห้งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (มากกว่า 5 มิลลิเมตรขึ้นไป) และทำได้รวดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟลูอิดไดเซชันธรรมดา โดยสามารถผสมอนุภาคของแข็งและมีประสิทธิภาพในการสัมผัสระหว่างแก๊สกับอนุภาคได้ดีกว่า (Hovmand, 1995)

Feng *et al.* (1999) ได้ศึกษาการอบแห้งบลูเบอร์รี่ด้วยวิธีสเปาเต็ดเบด หลังจากการแช่ผลบลูเบอร์รี่ในสารละลายเคมีแล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 12.9 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก พบว่าสามารถเร่งการสูญเสียน้ำได้ประมาณ 5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบถาด โดยใช้เวลา 3.3 ชั่วโมง การใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชันสำหรับการอบแห้งผลบลูเบอร์รี่นี้ไม่มีรายงานความเสียหายของผลระหว่างกระบวนการอบแห้ง นอกจากนี้การเพิ่มระบบไมโครเวฟให้แก่ระบบสเปาเต็ดเบด โดยการนำข้อดีของแต่ละเทคโนโลยีมารวมกัน พบว่าขั้นตอนของไมโครเวฟจะเพิ่มระยะเวลาการอบแห้ง ในขณะที่เทคนิคฟลูอิดไดเซชันโดยระบบสเปาเต็ดเบดจะช่วยปรับปรุงการอบแห้งให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน ซึ่งจะช่วยลดการไหม้ลงได้

Pallai *et al.* (1995) พบว่าการออกแบบและการจัดการกับพารามิเตอร์เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งไม่เพียงขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่รวมถึงการใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ (ข้าวโพด, ข้าวโอ๊ต) ต้องการอุณหภูมิสูงในการอบแห้งเพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ (โปรตีน, วิตามิน) ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ การใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งจำเป็นต่อการรักษาเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดไว้

การใช้อุณหภูมิต่ำจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่ง Jumah *et al.* (1996) ได้ดำเนินการตามหลักการอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง (tempering-intermittent drying) สำหรับระบบสเปาเต็ดเบดในการอบแห้งข้าวโพด การอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่องได้ถูกใช้และประสบผลสำเร็จโดยใช้ช่วงเวลาการอบแห้งสลับกับช่วงเวลาพัก ซึ่งทำให้มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารสูงขึ้น และผลการทดลองยังพบว่าเกิดความเสียหายต่อเม็ดในของข้าวโพดน้อย เนื่องจากการอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่องนั้นสามารถลดการชนกันของเมล็ดข้าวโพดใน spout zone

นอกจากนี้ การอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่องของฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่นยังช่วยในการรักษาคุณค่าทางโภชนาการได้ด้วย ดังผลการทดลองของ Pan *et al.* (1999) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่องของแครอทหั่นชิ้นเป็นลูกบาศก์ด้วยฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่น พบว่าสามารถรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนในชิ้นแครอทได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบต่อเนื่อง เช่นเดียวกับการอบแห้งของพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตระกูลแตง จากความชื้น 40 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือ 14.75 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก โดยใช้เวลา 96 นาที พบว่ามีปริมาณบีตา-แคโรทีน 87.2 เปอร์เซ็นต์ จากการอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง และเหลืออยู่เพียง 61.5 เปอร์เซ็นต์ จากการอบแห้งแบบต่อเนื่อง

ข้อดีของการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด (Pallai *et al.*, 1995 และ Jumah and Mujumdar, 2000)

1. สามารถใช้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ได้ แต่อัตราส่วนของอนุภาคขนาดใหญ่ต่อขนาดเล็กภายในหอทดลอง ควรมีค่าไม่เกิน 8
2. สามารถทำนายและจำลองรูปแบบของของแข็ง และการไหลของแก๊สภายในหอทดลองได้
3. มีรอบการเคลื่อนที่ของของแข็งอย่างสม่ำเสมอและมีการหมุนเวียนของอนุภาคเพิ่มขึ้น
4. มีอัตราการอบแห้งสูง เนื่องจากอนุภาคสัมผัสกับแก๊สได้ดีเป็นผลให้ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นลง
5. มีความดันตกคร่อม (pressure drop) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟลูอิดไดซ์เบด
6. สามารถใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งได้ ซึ่งเป็นผลดีต่ออาหารที่ไวต่อความร้อน
7. สามารถใช้กับกระบวนการอบแห้งที่ต้องการเคลือบ (coating) การทำให้ขึ้นรูปเป็นเมล็ด (granulation) และการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (agglomeration) ได้
8. สามารถใช้ในการอบแห้งอนุภาคที่เฉื่อย และของเหลวที่มีลักษณะเหนียวและข้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
9. มีการลงทุนต่ำและไม่ต้องใช้พื้นที่มาก
10. มีโครงสร้างที่เรียบง่ายและมีค่าบำรุงรักษาต่ำ เนื่องจากไม่ต้องมีการเคลื่อนย้ายส่วนที่เป็นตัวเครื่อง

ข้อจำกัดของการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด (Jumah and Mujumdar, 2000)

1. อัตราการไหลของแก๊สจะถูกควบคุมโดยการ spouting มากกว่าการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร หรือจลศาสตร์ทางเคมี (chemical kinetics)
2. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างเบดกับผนัง หรือเบดกับผิวหน้าของอนุภาคต่ำ
3. มีความดันตกคร่อมสูงก่อนที่จะเกิดระยะเริ่มต้นของการ spouting
4. มีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของหอทดลองและความสูงของระดับเบดสูงสุดที่จะเกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษาผักและผลไม้

1. การสูญเสียวิตามิน (วิตามินซี และบีตา-แคโรทีน)

ผักและผลไม้เป็นแหล่งสำคัญของวิตามินซีและโปรวิตามินเอ คือ บีตา-แคโรทีน การอบแห้งมีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีและบีตา-แคโรทีนลดลง ซึ่งจะผันแปรตามวิธีการอบแห้งที่ใช้ โดยที่การอบแห้งแบบธรรมดา (air drying) จะทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (Ade-Omowaye *et al.*, 2002) ในการอบแห้งแครอทแบบธรรมดา พบว่ามีปริมาณบีตา-แคโรทีนเพียง 60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (vacuum freeze drying) มีปริมาณบีตา-แคโรทีนเหลือถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยา, 2543) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองของ Desobry *et al.* (1998) ที่พบว่าการแช่เยือกแข็งมีประสิทธิภาพในการรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนในแครอทมากที่สุด

การอบแห้งอย่างรวดเร็วจะสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการอบแห้งอย่างช้าๆ การทำผักอบแห้งโดยการตากแดดจะสูญเสียวิตามินมาก หากทำแห้งแบบการแช่เยือกแข็งจะสูญเสียวิตามินน้อยลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อย เพราะเป็นกระบวนการที่กระทำในสภาวะสุญญากาศ เช่น การอบแห้งแครอทหั่นเป็นชิ้นด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (vacuum microwave drying) ซึ่งให้ผลดีพอๆ กับการแช่เยือกแข็ง ทำให้มีปริมาณบีตา-แคโรทีนและวิตามินซีมากกว่าการอบแห้งแบบธรรมดาซึ่งยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำด้วย (Lin *et al.*, 1998)

2. การสูญเสียสารสีธรรมชาติ

สีเป็นปัจจัยที่สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพของอาหารที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภค เพราะสีสามารถชี้บ่งว่าอาหารมีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป สีธรรมชาติที่พบในผักและผลไม้ คือ แคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ เกิดจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้ง ดังนั้นการรักษาสีธรรมชาติให้คงอยู่ระหว่างการอบแห้งจึงมีความสำคัญเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งเป็นที่ยอมรับและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค (นิธิยา, 2543)

โดยทั่วไปการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมาก การลวกจะทำให้สูญเสียสารบางชนิดที่ละลายน้ำออกไปได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในแครอทระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา หากสูญเสียน้ำมากจะมีผลทำให้แคโรทีนอยด์ถูกทำลายมากขึ้นด้วย (นิธิยา, 2543) ในการอบแห้งมะละกอและสับปะรดหลังการลวกพบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าปริมาณแอนโทไซยานิน แต่ปริมาณทั้งสองจะลดลงเมื่อทำการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลวกที่อุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนการทำ pretreatment ด้วยซัลเฟอร์เมตาไบซัลไฟต์จะช่วยป้องกันแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Sian and Ishak, 1991) สำหรับแครอทที่ไม่ได้ลวกแต่แช่ในสารละลายซัลไฟต์แล้วนำไปอบแห้งจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าแครอทที่อบแห้งโดยไม่ผ่านการลวกและแช่ซัลไฟต์ถึง 2.9 เท่า ถึงแม้แครอทจะผ่านการลวกก่อนการอบแห้ง แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็สามารถช่วยป้องกันการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ได้ และประสิทธิภาพจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากขึ้น (นิธิยา, 2543)

a_w มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอช เวลา กิจกรรมของเอนไซม์ ออกซิเจน และแสง โดยที่คลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ในภาวะที่เป็นกรด เช่น ผักขมที่ผ่านการลวกแล้วนำไปทำแห้งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง พบว่าคลอโรฟิลล์ส่วนใหญ่จะสลายตัวเป็นฟีโอไฟตินที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และที่ค่า a_w สูงกว่า 0.32 อย่างไรก็ตาม หากค่า a_w ต่ำกว่า 0.32 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (นิธิยา, 2543)

3. การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและบทบาทของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การเก็บรักษาผักและผลไม้อบแห้งไว้เป็นระยะเวลานานจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบที่เร่งด้วยเอนไซม์และแบบที่ไม่อาศัยเอนไซม์ โดยแบบที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมโนเมอร์และออร์โธไดฟีนอลให้เป็นวงแหวนควิโนน ปฏิกิริยานี้จะถูกเร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อและเกิดปฏิกิริยา condensation ได้เป็นสารสีน้ำตาล เรียกว่า เมลานิน (melanins) (นิธิยา, 2543)

ในการนำผักและผลไม้มาอบแห้ง จะทำการลวกก่อนเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลไม่ให้เกิดขึ้นได้ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์จะทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ตั้งแต่ก่อนลวกวัตถุดิบ และช่วยชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้อบแห้งด้วย (นิธิยา, 2543) ทั้งยังช่วยรักษาสีและกลิ่นรสในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาต่อไป โดยเฉพาะเมื่อเอนไซม์ไม่ได้ถูกทำลาย เช่น การอบแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้ยังใช้ในการป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (ไพโรจน์, 2539)

สำหรับปฏิกิริยา Maillard เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิล ทำให้เกิดโพลีเมอร์ของสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidin) ปฏิกิริยานี้บางครั้งก็มีประโยชน์ แต่ส่วนใหญ่มักไม่ต้องการให้เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์อาหาร เพราะทำให้เกิดสีและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และยังทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากสูญเสียกรดอะมิโนไลซีนและคุณภาพของโปรตีน ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยานี้ คือ น้ำตาล เอมีน พีเอช อุณหภูมิ และ a_w

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การรมด้วยกำมะถันหรือจุ่มในสารละลายซัลไฟต์ก่อนนำไปอบแห้งจะช่วยควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ในผักและผลไม้อบแห้งได้ระดับหนึ่ง แต่มีการจำกัดปริมาณการใช้เพราะผู้บริโภคบางคนมีความไวต่ออาหารที่มีสารซัลไฟต์ ซึ่งทำให้เกิดอาการหืดหอบ (นิธิยา, 2543)

อัตราการเกิดสีคล้ำระหว่างการเก็บรักษาผักผลไม้ที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณไม่มากนักจะแปรผกผันกับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ อย่างไรก็ตาม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะฟอกแอนโทไซยานินออก เนื่องจากมี anthocyanin carbonium ion (R^+) เกิดขึ้น และไปทำปฏิกิริยากับไบซัลไฟต์ทำให้เกิดเป็น chromen-2 (หรือ 4) –sulfonic acid ซึ่งไม่มีสี แต่มีโครงสร้างและสมบัติคล้าย anthocyanin carbinol base (นิธิยา, 2549) นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสด้วย (จริงแท้, 2549)

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างอยู่จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนสีผักผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา โดยอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิสูงและผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงกว่า 4-5 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิการเก็บรักษาเกิน 38 องศาเซลเซียส (วิไล, 2545)

4. การสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสูญเสียรสชาติ

กลิ่นและรสชาติของผักและผลไม้อบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญในการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค จึงควบคุมให้มีการสูญเสียกลิ่นและรสชาติน้อยที่สุด นอกจากนี้ผักและผลไม้อบแห้งบางชนิดยังมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไปจากธรรมชาติได้ ตั้งแต่ระยะก่อนอบ กำลังอบ และระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสีย เช่น การขนส่งวัตถุดิบ การแปรรูปล่าช้า ถูกแสง ได้รับอุณหภูมิสูง และมีสารเคมีปนเปื้อน และต้องคำนึงไว้เสมอว่าสารให้กลิ่นและรสชาติเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น น้ำมันหอมระเหย (นิธิยา, 2543)

ความผิดปกติของกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่เกิดขึ้น ไม่ได้เกิดจากการสูญเสียสารให้กลิ่น แต่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความผิดปกติของกลิ่นและรสชาติ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งจะมีกลิ่นและรสชาติดีกว่าการอบแห้งแบบธรรมดา ยกเว้นหอมหัวใหญ่ที่การอบแห้งแบบธรรมดามีกลิ่นแรงกว่า เพราะขณะอบแห้งเนื้อหอมจะหดตัวและจับสารให้กลิ่นไว้ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการอบแห้งต้นกระเทียมญี่ปุ่นและเซเลอรี (นิธิยา, 2543)

การสูญเสียสารให้กลิ่นส่วนมากจะเกิดในระยะแรกของการอบแห้ง ในการรักษากลิ่นให้คงอยู่นั้นจะขึ้นกับอุณหภูมิและวิธีการอบแห้งที่ใช้ เช่น ใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้ง หรือการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แช่เยือกแข็ง เช่น การแช่เยือกแข็งแอปเปิล พบว่าเป็นวิธีการที่ช่วยรักษากลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์อบแห้งมากที่สุด (Krokida and Philippopoulos, 2006)

5. ลักษณะเนื้อสัมผัสและการคืนรูป

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพ โดยการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนจะทำลายลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างถาวร ทำให้เกิดการหดตัวอย่างช้าๆ และเมื่อแช่น้ำจะเกิดการคืนรูปได้ไม่สมบูรณ์ เพราะท่อคาพิลลารีเสียสภาพและหดตัว ซึ่งส่งผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุ คือ มีการสูญเสีย differential permeability ใน protoplasmic membrane สูญเสียแรงดันเต่งภายในเซลล์ โปรตีนเสียสภาพ สตาร์ชเกิดผลึก และมีการสลายพันธะไฮโดรเจนของสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ ดังนั้นจึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผักที่อบแห้งด้วยลมร้อนจะเสื่อมสลายระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะผักอบแห้งที่ยังมีความชื้นอยู่สูง (นิธิยา, 2543)

อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งก็มีผลมากต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยทั่วไปการอบแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ตัวถูกละลายภายในเซลล์จะเคลื่อนที่จากด้านในไปที่ผิวของอาหารขณะที่น้ำจะถูกกำจัดออกระหว่างการทำแห้ง กลไกและอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะสำหรับตัวถูกละลายแต่ละชนิด และขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารรวมถึงสภาวะการทำแห้ง การระเหยของน้ำทำให้ตัวถูกละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของอากาศทำให้ผิวหน้าของอาหารโดยเฉพาะผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีอย่างซับซ้อนและทำให้ผิวแห้งแข็ง หรือเรียกว่า การเกิดผิวแห้งแข็ง (case hardening) ซึ่งจะลดอัตราการทำแห้งให้ช้าลงและส่งผลให้อาหารมีผิวหน้าแห้งแต่ภายในยังชื้นอยู่ การควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นด้านในและผิวของอาหารจะช่วยลดเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ได้ (รัตนาและพิไลรัก, 2541)

นอกจากนี้ อัตราเร็วและระดับของการดูดน้ำคืน (rehydration) อาจใช้เป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของอาหารได้ อาหารที่ทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะเกิดความเสียหายน้อยและดูดน้ำคืนได้เร็วกว่าอาหารที่ทำแห้งที่สภาวะไม่เหมาะสม (วิไล, 2545)

Marabi *et al.* (2006) พบว่าการคืนรูปหรือการดูดน้ำคืนของชิ้นแครอทที่อบแห้งด้วยวิธี vacuum-puffed-drying มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน เพราะการอบแห้งแบบลมร้อนนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง ส่วนการอบแห้งแครอทด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบดจะให้สี การคืนรูป ปริมาณบีตา-แคโรทีนที่เหลืออยู่ และมีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Prakash *et al.*, 2004) แต่การอบแห้งหอมหัวใหญ่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้วยวิธี Far infrared radiation ภายใต้สภาพสุญญากาศจะใช้เวลาการอบแห้งนาน และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้คุณสมบัติในการดูดน้ำคืนลดลง (Mongpraneet *et al.*, 2002)

เทคนิคที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของผักและผลไม้ภายหลังการแช่น้ำให้คืนตัวและลดระยะเวลาการอบแห้งสามารถทำได้โดยการเติมสารบางชนิดลงไป ได้แก่ เกลือ และสารประกอบโพลีไฮดรอกซี เช่น น้ำตาล และกลีเซอรอล ซึ่งใช้เป็น predrying treatment เป็นต้น (ไพโรจน์, 2539)

6. อิทธิพลของ a_w

ค่า a_w มีบทบาทสำคัญมากต่อการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหารอบแห้ง และมีผลต่อปฏิกิริยาที่ทำให้อาหารเน่าเสีย การเจริญหรือความคงตัวของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในอาหาร ซึ่งมีอิทธิพลต่อความคงตัวของอาหาร (นิธิยา, 2543)

ปัจจุบันเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่าจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารที่ปราศจากน้ำ หรืออาหารแห้งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.7 หรือต่ำกว่า แต่ก็ยังมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแห้ง ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง เช่นปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาพที่มีปัจจัยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและนำไปสู่ความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งได้ (Robertson, 1993) ดังนั้นจึงใช้ a_w เป็น ตัวชี้บ่งหรือทำนายการเน่าเสียของอาหาร และเป็นตัวกำหนดการสิ้นอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นานและมีความคงตัวดี (นิธิยา, 2543) แต่ทั้งนี้จะต้องมีการรักษาค่า a_w ของอาหารไม่ให้เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เพราะอาหารที่มีปริมาณน้ำต่ำนั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยจะมีผลต่อการเก็บรักษาทันที แต่ในบางครั้งก็ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ให้เพิ่มขึ้นได้บ้างเล็กน้อย หากมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ค่าพีเอช เกลือ สารป้องกันจุลินทรีย์ และอุณหภูมิ (ไพบูลย์, 2532)

7. จุลินทรีย์

ระหว่างการอบแห้งอาจมีจำนวนจุลินทรีย์บางส่วนลดจำนวนลงหรือถูกทำลาย แต่ก็อาจมีจุลินทรีย์บางส่วนสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ค่า a_w ของอาหารอบแห้ง ค่าพีเอช สารกันบูด ออกซิเจน และอื่นๆ ดังนั้นการมีชีวิตรอดของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียจึงเป็นปัญหา และจะเป็นปัญหามากยิ่งขึ้นหากพบว่ามีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคปนเปื้อนอยู่ด้วย (นิธิยา, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการอบแห้งอาหาร วิธีการหรือภาวะที่ใช้อบแห้งมักจะคำนึงถึงการรักษาสี กลิ่น และรสชาติตามธรรมชาติของอาหารไว้ให้มากที่สุด ดังนั้นจึงพยายามใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดหรือระยะเวลาสั้นที่สุด ไม่ว่าจะใช้กระบวนการอบแห้งวิธีใดที่อุณหภูมิต่ำหรือที่อุณหภูมิสูงก็ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารได้อย่างสมบูรณ์ และมีบางส่วนที่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้ดี ได้แก่ สปอร์ของแบคทีเรีย ยีสต์ รา และ thermoduric bacteria ดังนั้นจึงอาจมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้นก่อนการอบแห้ง โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคหรือสร้างสารพิษซึ่งจะเป็นอันตรายแก่ผู้บริโภค การลวกเป็นวิธีหนึ่งในการลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวของอาหาร อีกทั้งยังช่วยทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลและปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย (นิธิยา, 2543)

8. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา

สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษา หรือการรอจำหน่ายเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมาก ซึ่งจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยจะต้องพิจารณาและจัดภาวะในการเก็บรักษาให้เหมาะสม เพื่อควบคุมหรือหลีกเลี่ยงภาวะที่เป็นปัจจัยที่จะนำไปสู่ความไม่คงตัวของอาหารอบแห้ง สาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งเสื่อมคุณภาพลงได้ในระหว่างการเก็บรักษา เช่น แสง อุณหภูมิ ออกซิเจน และความชื้น ซึ่งหากไม่มีการควบคุมปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดความไม่คงตัวทั้งทางเคมีและทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (สุคนธ์ชื่น, 2546)

ความชื้นในผักและผลไม้อบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของอาหารแห้ง รองลงมา คือ อุณหภูมิ เพราะอุณหภูมินอกจากจะเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลาย เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ลิพิดออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ และการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนให้เกิดเร็วขึ้นแล้ว ยังเร่งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียอีกด้วย นอกจากนี้การกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุโดยการเก็บรักษาในบรรยากาศแก๊สไนโตรเจน จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาหรือรักษาความคงตัวของผักและผลไม้อบแห้งได้นานขึ้น (นิธิยา, 2543)

แสงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สารสีถูกทำลายทั้งคลอโรฟิลล์และแคโรทีน รวมทั้งวิตามินบางชนิดก็ถูกทำลายด้วยแสงได้ เช่น วิตามินซี วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง และวิตามินเอ ดังนั้นภาชนะบรรจุที่ใช้ควรป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งถูกแสงด้วย (นิธิยา, 2543)

Cinar (2004) ได้ทดลองศึกษาการสูญเสียแคโรทีนอยด์หลังการทำแห้งเปลือกส้ม มันเทศ และแครอทด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งภายใต้สภาพการเก็บรักษาต่างๆ พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อบแห้งทุกชนิดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สูญเสียรงควัตถุน้อยที่สุด ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

40 องศาเซลเซียส สูญเสียรงควัตถุมากที่สุด และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาพที่มีแสง ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการสูญเสียแคโรทีนอยด์ เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพไม่มีแสง

ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งจะต้องพิจารณาถึงปริมาณความชื้นสมดุลของอากาศในระหว่างการเก็บรักษาด้วย เพราะผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นสมดุลกับบรรยากาศเฉลี่ย อาหารจะดูดความชื้นจากอากาศ จึงควรป้องกันโดยการเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท (สุคนธ์ชื่น, 2546)

การเก็บรักษาผลไม้อบแห้ง

โดยทั่วไปอาหารแห้งที่เก็บรักษาไว้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.70 จะปลอดภัยจากจุลินทรีย์ ทั้งนี้จะต้องรักษาค่า a_w ไม่ให้เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (สุคนธ์ชื่น, 2546)

การเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันในถุงสุญญากาศ ถุงโพลีโพรพิลีนที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน และถุงอลูมิเนียมเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 25-30 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 8 และ 25-30 องศาเซลเซียส ให้ผลดีที่สุด โดยมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 12 และ 8 เดือน ตามลำดับ (วัฒนา, 2545)

ปัจจุบันได้มีการนำวิทยาการเกี่ยวกับการนำแก๊สชนิดต่างๆ มาใช้สำหรับกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น เพื่อช่วยรักษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ ไว้ให้นานที่สุด ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาอาหารนั่นเอง กระบวนการบรรจุแบบ gas flushing เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศของแก๊สชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือแก๊สไนโตรเจน (N_2) โดยการพ่นแก๊สชนิดที่ต้องการเข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้สำหรับไล่แก๊สออกซิเจน (O_2) ในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) เช่น อาหารที่มีไขมันมาก และน้ำผลไม้ เป็นต้น

แก๊สที่ใช้สำหรับพ่นเข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจน เป็นต้น แต่แก๊สที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบ gas flushing ในอุตสาหกรรมอาหาร คือ แก๊สไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่เป็นพิษ จึงสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด

2. เป็นแก๊สเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี จึงมักใช้ในการแทนที่แก๊สออกซิเจน เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร

3. เป็นแก๊สที่ไม่เกิดการระเบิดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

4. เป็นแก๊สที่ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก จึงสามารถพ่นฟองแก๊สไนโตรเจนผ่านเข้าไปยังวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมัน (นิรนาม, 2548: ระบบออนไลน์)

ผลการศึกษาอายุเก็บรักษาของท้ออบแห้งที่บรรจุหีบห่อแบบธรรมดา สุญญากาศ และแบบในแก๊สไนโตรเจน พบว่า ท้ออบแห้งที่บรรจุในหีบห่อแบบมีแก๊สไนโตรเจนมีอายุการเก็บรักษาได้นาน นอกจากนี้วัสดุของภาชนะบรรจุยังมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา กล่าวคือ วัสดุภาชนะบรรจุที่มีความสามารถต้านทานต่อการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนจะช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา ทั้งนี้เพราะว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับออกซิเจนต่ำ (ไพบูลย์, 2532) และผลการทดลองของไพโรจน์และคณะ (2545) ที่ได้ศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษามะม่วงแก้วอบแห้ง โดยใช้ถุง oriented polypropylene และถุงอลูมิเนียมเปลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 30 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ถุงอลูมิเนียมเปลวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ทำให้คุณภาพด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ดีกว่าและมีอายุการเก็บรักษานานกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส คือ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานประมาณ 8 เดือน

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ต้องพิจารณาร่วมด้วยในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สภาวะในการเก็บรักษา เช่น การควบคุมอุณหภูมิ แสง ปริมาณความชื้น สถานะของจุลินทรีย์ (microbiological state) เริ่มต้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ ชนิดและความเข้มข้นของแก๊สที่เหมาะสมในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด และเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุ เช่น การเก็บรักษาผักใบเขียวอบแห้งในถุงโพลีเอทิลีน ความหนา 2 ชั้นที่อุณหภูมิต่ำสามารถลดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และลดการเกิดสีน้ำตาลลงได้ (Negi and Roy, 2001) และการเก็บรักษาองุ่นอบแห้งในถุงพลาสติก ถุงสุญญากาศ และเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (1 เปอร์เซ็นต์ O_2 และ 13 เปอร์เซ็นต์ CO_2) พบว่าคุณภาพด้านสี ปริมาณความชื้น ปริมาณกรด และพีเอช มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน (Mahmutoglu *et al.*, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved