บทที่ 2
งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

มะม่วง

มะม่วง (*Mangifera Indica* L., family Anacardiaceae) เป็นผลไม้ที่มีการปลูกอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศเขตร้อนและกึ่งร้อน จึงจัดว่ามีความสำคัญมากในตลาดโลก แหล่งที่ปลูกมะม่วงมากที่สุดอยู่ในทวีปเอเชีย และประเทศที่ส่งออกมะม่วงมากที่สุดในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศฟิลิปปินส์และประเทศไทย (Ploetz et al.,1994) โดยตลาดมะม่วงสดของประเทศฟิลิปปินส์ คือ ประเทศฮ่องกง ส่วนตลาดมะม่วงสดของประเทศไทย ได้แก่ ประเทศสิงคโปร์ และมาเลเซีย อินเดียซึ่งเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ที่สุดในโลกมีตลาดมะม่วงสดอยู่ในกลุ่มประเทศยุโรป เช่น อังกฤษ และเยอรมัน เป็นต้น สำหรับผลิตภัณฑ์มะม่วงแปรรูป ประเทศไทยผลิตสินค้าในรูปของชิ้นมะม่วงในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องเป็นสินค้าหลักโดยมีตลาดต่างประเทศได้แก่ ประเทศอังกฤษและเยอรมัน ส่วนประเทศอินเดีย ปากีสถาน และบังคลาเทศ ส่งออกมะม่วงแปรรูปในรูปของมะม่วงดอง ชัทนี และชิ้นมะม่วงในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง (Jethro et al., 1990) และจากผลการสำรวจการแปรรูปมะม่วงในประเทศไทย มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะม่วงในรูปของเครื่องดื่ม ชิ้นมะม่วงบรรจุกระป๋อง และมะม่วงดอง ส่วนการผลิตมะม่วงอบแห้งเพื่อการค้ายังมีไม่มากนัก (Masatoshi and Suranant, 1993) ผลผลิตโดยมากประมาณร้อยละ 98 ยังคงใช้บริโภคสดภายในประเทศ และร้อยละ 1.0 บริโภคในรูปผลิตภัณฑ์แปรรูป นอกจากนั้นส่งออกจำหน่ายต่างประเทศโดยส่งออกในรูปผลสดและผลิตภัณฑ์แปรรูปเพียงร้อยละ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) จากตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณการส่งออกมะม่วงสดและแห้งช่วงปี 2533-2539 มีแนวโน้มลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 6.5 ต่อปีจากจำนวน 5,724 ตันในปี 2533 เหลือเป็น 3,622 ตันในปี 2538 ในขณะที่มูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นจาก 37.358 ล้านบาทในปี 2533 เป็น 42.285 ล้านบาทในปี 2538 หรือเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 6.7 ต่อปี และเมื่อปี 2539 พบว่าทั้งปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาถึง 3 เท่า (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2539)

มะม่วงที่ปลูกในประเทศไทย สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ คือ มะม่วงรับประทานสุก มะม่วงรับประทานดิบ (มะม่วงมัน) และมะม่วงสำหรับแปรรูป

1. มะม่วงรับประทานสุก

มะม่วงประเภทนี้ขณะที่ดิบจะมีรสเปรี้ยวมาก แต่เมื่อเริ่มสุกแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล และมีรสหวานอร่อย ตลาดโลกส่วนใหญ่รู้จักมะม่วงประเภทรับประทานสุกนี้เท่านั้น นอกจากจะใช้ประโยชน์ในรูปรับประทานผลสุกแล้ว ยังใช้ประกอบอาหารหวานได้อีกหลายอย่าง พันธุ์มะม่วงรับประทานสุกของไทย เช่น อกร่อง ทองดำ แรด น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน ตะเพียนทอง โชคอนันต์ พิมเสนแดง นาทับ หอมทอง เจ้าพระยา พราหมณ์ขายเมีย แก้วลืมรังและศรีสยาม เป็นต้น

2. มะม่วงรับประทานดิบ

มะม่วงรับประทานดิบหรือมะม่วงมัน ใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ระยะยังไม่แก่จนถึงแก่จัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ บางพันธุ์ต้องปล่อยให้ผลอยู่ในสภาพแก่จัดเสียก่อนจึงจะมีรสชาติอร่อย ประเทศไทยมีมะม่วงรับประทานดิบหลายชนิดซึ่งมีรสชาติอร่อยเทียบเท่ากับผลไม้ต่างประเทศ พวกแอปเปิ้ลและสาลี่ แต่ชาวต่างชาติส่วนใหญ่ไม่รู้จักมะม่วงรับประทานดิบ ตลาดของมะม่วงรับประทานดิบจึงค่อนข้างแคบและเป็นการบริโภคภายในประเทศเท่านั้น มีการส่งออกบ้างแต่ไม่มากนัก พันธุ์มะม่วงรับประทานดิบของไทย เช่นพิมเสนมัน เขียวเสวย ศาลายา ทูนถวาย มันเดือนเก้า มันทองเอก แรด สายฝน เขียวสะอาด ฟ้าลั่น หนองแซง เพชรบ้านลาด มันหวาน บางขุนศรี มัยขาบตึก เจ้าคุณทิพย์ และแห้ว เป็นต้น

3. มะม่วงสำหรับแปรรูป

มะม่วงสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น มะม่วงบด มะม่วงดอง แยมมะม่วง ไวน์มะม่วง มะม่วงตากแห้ง ชัทนีมะม่วง น้ำมะม่วง มะม่วงเชื่อม ซอสมะม่วง มะม่วงแช่แข็ง มะม่วงกวน มะม่วงสามรส มะม่วงแผ่น และมะม่วงเค็ม เป็นต้น

อย่างไรก็ตามมะม่วงทุกชนิดไม่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ เพราะผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการมะม่วงที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น มะม่วงดองต้องการมะม่วงที่มีเนื้อแน่น เช่นมะม่วงแก้ว น้ำมะม่วงที่รสชาติดีจะได้จากมะม่วงพันธุ์สามปี ซึ่งจะมีคุณภาพที่ดีกว่าอกร่องและมะม่วงแก้ว ไวน์มะม่วงที่ทำจากมะม่วงน้ำดอกไม้จะมีกลิ่นหอม เป็นต้น อย่างไรก็ดีพันธุ์มะม่วงที่มีบทบาทในการแปรรูปนั้นจะต้องเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากและราคาไม่แพงจนเกินไป

พันธุ์มะม่วงที่ใช้ในการแปรรูปในปัจจุบันได้แก่ มะม่วงแก้ว นอกเหนือจากนี้ได้แก่ มะม่วงสามปี และตลับนาก เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะม่วงสด/แห้ง

มะม่วงสด/แห้ง	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539
ปริมาณ (ตัน)	5,724	3,236	3,947	2,940	3,411	3,662	10,218
มูลค่า (ล้านบาท)	37.358	26.132	31.616	26.110	48.455	42.285	139.77

ที่มา : สำนักวิจัยเศรษฐกิจเกษตร (2539)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางอาหารของมะม่วงดิบส่วนที่กินได้ 100 กรัม

คุณค่าทางอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	67
โปรตีน (กรัม)	0.5
ไขมัน (กรัม)	0.2
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	15.7
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	14
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	2
เหล็ก (มิลลิกรัม)	น้อยมาก
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.05
วิตามิน บี 2 (มิลลิกรัม)	0.02
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	0.2
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	35
เบต้า-แคโรทีน (RE)	37
ไยอาหาร (กรัม)	2.4

ที่มา : โครงการหนูรักผักสีเขียวมูลนิธิโตโยต้าประเทศไทยและสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (2542)

มะม่วงแก้ว

เป็นมะม่วงพื้นบ้านปลูกกันทั่วไปทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง สามารถนำไปแปรรูปอย่างกว้างขวางที่สุด ลำต้นเจริญเติบโตเร็ว พุ่มต้นกลมสวยงาม ใบค่อนข้างใหญ่ ยาวรีสีเขียวเข้ม ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี ให้ผลดกมาก ขนาดผลเล็กไปจนถึงขนาดปานกลาง ผลดิบใช้รับประทานอย่างกว้างขวาง มะม่วงแก้วสามารถให้ผลนอกฤดู (ทะวาย) ได้ ลักษณะเปลือกค่อนข้างหนาและเหนียว ที่ผลมีต่อมน้ำมันค่อนข้างใหญ่มองเห็นได้ชัดเจน เมื่อผลยังดิบผิวเปลือกมีสีเขียวเข้ม เนื้อสีขาวนวล ปริมาณร้อยละของแป้งในผลมาก รสเปรี้ยว แต่เมื่อแก่จัดมีรสมันอมเปรี้ยว ผลลักษณะกลมป้อม เมื่อผลสุกผิวเปลือกมีสีเขียวปนเหลือง สีเนื้อมีสีเหลือง ลักษณะเนื้อหยาบ รสออกหวานอมเปรี้ยว เมล็ดใหญ่มีเนื้อในเมล็ดเต็ม

คุณสมบัติทางเคมีของมะม่วงแก้ว พบว่ามะม่วงแก้วผลดิบและสุกมีปริมาณน้ำร้อยละ 83.02-85.71 เส้นใยร้อยละ 0.62-0.49 โปรตีนร้อยละ 0.48-0.52 ไขมันร้อยละ 0.07-0.09 เถ้าร้อยละ 0.31-0.30 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14.11-15.35 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 3.2-12.0 องศาบริกซ์ และ pH เท่ากับ 2.8-4.3 ตามลำดับ (Masatoshi and Suranant, 1993 ; วุฒิคุณ, 2530) มะม่วงแก้วให้คุณค่าทางเศรษฐกิจสูงมากทั้งขายผลสุกและดิบ มีการส่งออกต่างประเทศด้วยเช่นกัน ส่วนการนำมาแปรรูปภายในประเทศมะม่วงแก้วจะถูกแปรรูปเป็นมะม่วงกวนและมะม่วงแผ่นมากที่สุด นอกจากนี้นำมาแปรรูปเป็นมะม่วงดองและมะม่วงบรรจุกระป๋องก็ให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีเพราะผลมีปริมาณร้อยละของแป้งสูงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อแน่นและกรอบอร่อย มะม่วงแก้วสามารถแบ่งได้เป็นชนิดต่างๆตามสายพันธุ์ เช่น แก้วดำ แก้วแดง แก้วขาว แก้วเขียว และแก้วจุก ซึ่งโดยลักษณะที่เป็นที่รู้จักและมีความสำคัญมี 4 สายพันธุ์ คือ

1. **แก้วเขียว** ลักษณะสีผิวของผลเมื่อดิบออกสีเขียวอ่อน คล้ายผิวมะม่วงอกร่อง เนื้อผลมีสีขาวนวล เมื่อผลสุกมีลักษณะคล้ายมะม่วงอกร่อง พบมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เข้าใจว่าเป็นพันธุ์ผสมระหว่างมะม่วงแก้วและมะม่วงอกร่อง

2. **แก้วดำหรือแก้วแดง** สาเหตุที่เรียกแก้วดำ เพราะมีสีผิวเปลือกเมื่อดิบออกสีเขียวคล้ำ คล้ายพันธุ์ทองดำ ส่วนชื่อแก้วแดง เรียกตามลักษณะสีเนื้อเมื่อเวลาสุก คือเนื้อมีสีแดงถึงแดงสด เป็นพันธุ์มะม่วงดั้งเดิม มีปลูกกันทั่วไปทุกภาค ยกเว้นภาคใต้

3. แก้วขาว เป็นอีกสายพันธุ์หนึ่งของมะม่วงแก้ว คือผลดิบผิวผลสีขาวนวลแตกต่างจากมะม่วงแก้วชนิดอื่นๆ แต่ผลสุกมีเนื้อสีแดง เนื้อละเอียด เช่น มะม่วงแก้วโดยทั่วไป เป็นมะม่วงแก้วที่ปลูกกันมากทางภาคกลาง โดยเฉพาะจังหวัดอุทัยธานีและสิงห์บุรี

4. แก้วจุก ลักษณะเหมือนพันธุ์แก้วดำและแก้วขาว คือมีสีผลเหมือนทั้งแก้วดำ (เขียวคล้ำ) และแก้วขาว (สีขาวนวล) ลักษณะผลโตกว่ามะม่วงแก้วพันธุ์อื่นๆ ส่วนขั้วผลมีลักษณะนูนยื่นออกมาเล็กน้อย หรือแหล่งปลูกที่มีน้ำอุดมสมบูรณ์อาจเกิดลักษณะเป็นจุกได้ทั้งในพันธุ์มะม่วงแก้วและแก้วขาว ในต้นหนึ่งอาจมีทั้งเป็นจุกและไม่มีจุกก็ได้ (กองบรรณาธิการเฉพาะกิจฐานเกษตรกรรม , 2530)

มะม่วงอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้มะม่วงแก้วในการแปรรูป โดยมะม่วงแก้วสด 100 ตัน อบแห้งได้ 20 ตัน อุตสาหกรรมประเภทนี้มีผู้ประกอบการประมาณ 20 ราย และไม่ได้ทำการผลิตมะม่วงเพียงอย่างเดียว แต่จะผลิตผลไม้รวมหลายชนิด ปริมาณการผลิตไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการสั่งซื้อของลูกค้า (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงอบแห้งที่ผลิตขายในประเทศไทยชนิด Low-sweetened dried mango พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 8-12 ปริมาณไขมันร้อยละ 0.1 เถ้าร้อยละ 1.0 โปรตีนร้อยละ 10.9 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 0.4 ปริมาณน้ำตาลธรรมชาติในมะม่วง น้ำตาลที่เติมลงไป และน้ำตาลทั้งหมดเป็นร้อยละ 25 20 และ 50 ตามลำดับ ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 150-250 ส่วนในล้านส่วน และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด 50 องศาบริกซ์ (Masatoshi and Suranant, 1993)

ตารางที่ 2.3 ตลาดการส่งออกมะม่วงสดและมะม่วงกระป๋องของไทย

สินค้า	2537	2538	2539	2540	2541
	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)
มะม่วงสด	3,419	3,658	8,246	8,522	10,209
มาเลเซีย	2,331	1,051	3,921	5,539	7,303
สิงคโปร์	550	1,943	2,935	2,178	2,333
ฮ่องกง	274	293	803	458	229
ไต้หวัน	145	81	205	70	26
จีน	89	112	107	95	145
อื่นๆ	30	178	278	182	173
มะม่วงกระป๋อง	6,397	5,914	6,937	5,998	5,526
ออสเตรเลีย	947	929	1,276	1,261	815
ฮ่องกง	139	161	157	209	42
อเมริกา	155	206	180	213	401
สิงคโปร์	43	21	95	31	40
จีน	373	344	207	272	270
แคนาดา	113	96	119	115	130
เยอรมัน	890	563	452	584	859
อังกฤษ	257	637	894	836	783
เนเธอร์แลนด์	1,724	1,519	1,678	1,004	759
อื่นๆ	1,756	1,438	1,879	1,473	1,427

ที่มา : เมืองเกษตร (2543)

การทำแห้ง (Drying)

การทำแห้ง (Drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของน้ำแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) วัตถุประสงค์ของการอบแห้งคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Water activity , Aw) ซึ่งมีผลไปยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการอบแห้งมี

ข้อเสียเปรียบบางประการ กล่าวคือ ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณภาพทางโภชนาการของอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องอบแห้ง คือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้งโดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณภาพทางโภชนาการของอาหารน้อยที่สุด (วิไล, 2543) ซึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากจะไม่ใช่วัสดุที่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ แต่จะมีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่ (Hygroscopic materials) เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ต่างๆ ซึ่งต่างจากวัสดุอื่นๆเช่น ทราย หรือน้ำ ซึ่งสามารถทำให้แห้งจนมีค่าความชื้นเป็นศูนย์ได้ (Non-Hygroscopic materials) (วิไล, 2543 ; กุลยา, 2540 ; Fellows, 1993)

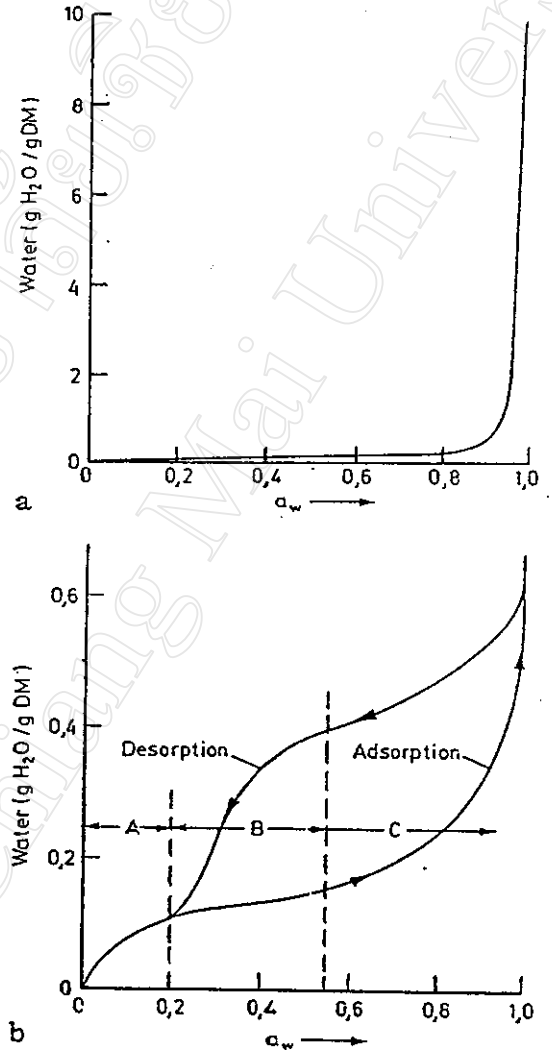
ความชื้นในอาหาร

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารและเมล็ดพืชนั้น ประกอบด้วยความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของอาหาร (Unbound moisture) ซึ่งสามารถขจัดความชื้นนี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน และความชื้นที่เกาะอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กๆ (Capillaries) ที่อยู่ภายในเนื้ออาหาร (Bound moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในอาหารนี้ได้หมด (วิไล, 2543)

ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (วอเตอร์แอคติวิตี้)

ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ หรือ วอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity; Aw) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นน้ำที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลทางเคมีของอาหาร (Bound water) และยังเป็นอิสระ (Free water) อยู่ในอาหาร ถ้ามีมากจะทำให้อาหารเก็บไว้ได้ไม่นาน หรือเรียกว่าอายุการเก็บรักษา (Shelf-life) สั้น การหาความชื้นในอาหาร หาได้จากการนำอาหารไปอบแล้วชั่งหาน้ำหนักของแข็งที่เหลือ ทำให้ทราบความชื้นหรือปริมาณน้ำที่หายไป แล้วคำนวณออกมาเป็นร้อยละความชื้นหรือร้อยละน้ำที่อยู่ในอาหารนั้น อย่างไรก็ตามถ้าความชื้นของอาหารน้อยกว่าร้อยละ 50 หรือในอาหารแห้งโดยทั่วไปควรหาค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ หรือ Aw จะทำให้เห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของอาหารได้ชัดเจนกว่า เพราะถ้าค่าความชื้นในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยก็จะเห็นความแตกต่างของค่า Aw ได้ทันที ดังแสดงในภาพที่ 2.1a แสดงถึงความสัมพันธ์ของการหาค่าความชื้นกับค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารที่มีน้ำมาก คือมีน้ำ 0 กรัมต่อน้ำหนักแห้งอาหาร 1 กรัม จนถึงอาหารที่มีน้ำ 10 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม สำหรับภาพที่ 2.1 b เป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ของอาหารที่มีความชื้นน้อย คือมีน้ำ 0 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง

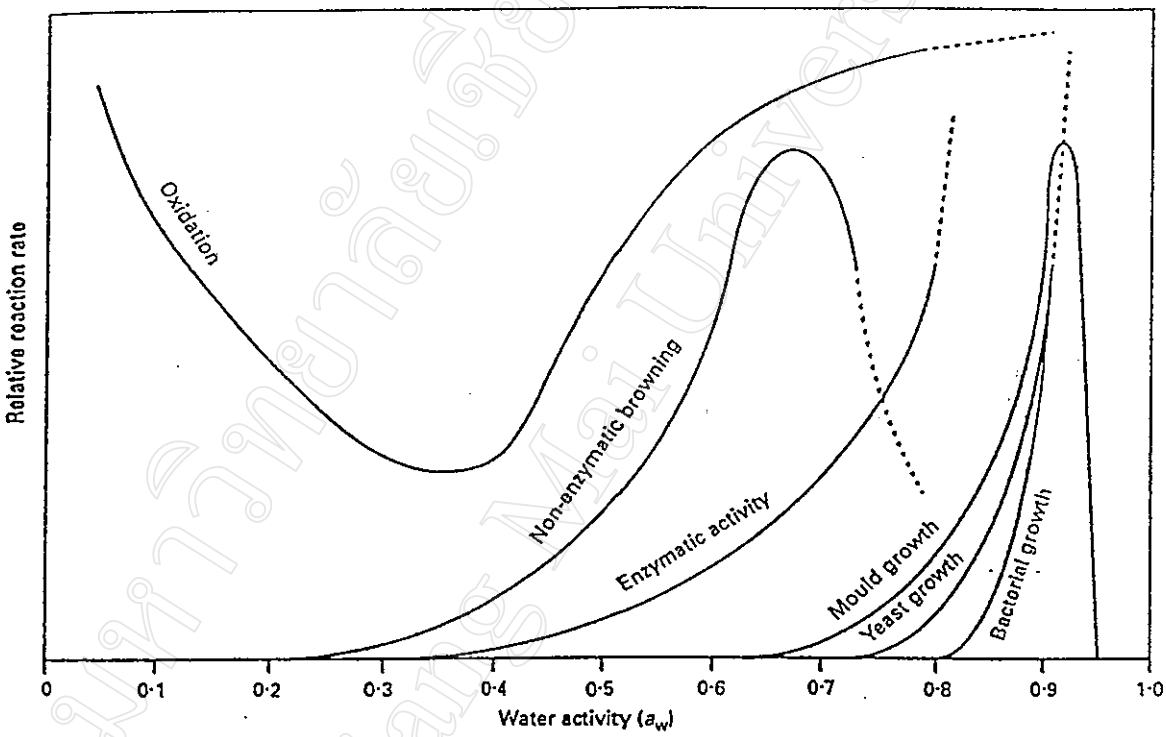
1 กรัม จนถึงมีน้ำ 0.6 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ในภาพ 2.1a พบว่าตัวอย่างอาหารที่มีปริมาณน้ำมากตั้งแต่ 0.5 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ขึ้นไปจึงจะเห็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอาหารได้ชัดเจน และที่ปริมาณน้ำต่ำกว่า 0.5 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะสามารถอธิบายด้วยค่า Aw ได้ดีกว่า ส่วนในภาพ 2.1b สำหรับอาหารที่มีความชื้นน้อย เมื่อมีความชื้นในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย จะเห็นค่าความแตกต่างของค่า Aw ได้อย่างชัดเจน เพราะเส้นกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในอาหารกับความสัมพันธ์ของค่า Aw ซึ่งจะขยายไปตามแนวแกนของค่า Aw มากขึ้น



ภาพที่ 2.1การดูดและคายน้ำของอาหาร (moisture isotherm) รูป a. เป็นกราฟของอาหารที่มีความชื้นสูง รูป b. เป็นกราฟของอาหารที่มีความชื้นต่ำ

ที่มา : Fennema (1996)

อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์จึงลดการเกิดสีน้ำตาลและลดการเหม็นหืน ดังนั้นอาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำจึงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าอาหารที่มีค่าน้ำมีเป็นประโยชน์สูง อาหารที่สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุดคือ มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.2-0.4 ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงอายุการเก็บรักษาอาหาร เป็นผลจากค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารนั้น
ที่มา : Macrae et al. (1993)

อย่างไรก็ตามสามารถลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารเพื่อทำให้อาหารเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยการเติมสารที่ดูดน้ำได้ดี (Humectants) ลงในอาหารนั้น ซึ่งได้แก่ เกลือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และแซคคาโรส เป็นสารที่มีแนวโน้มจะใช้เป็นสารดูดน้ำได้ แต่สารบางชนิดมีรสหวานหรือเค็ม การใช้สารเหล่านี้จำนวนมากพอเพื่อดูดน้ำและควบคุมค่าน้ำที่เป็นประโยชน์อาจทำให้รสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลงไปได้

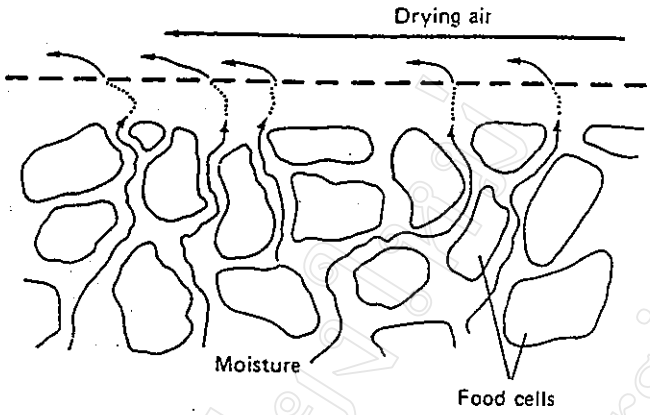
ตารางที่ 2.4 ระดับค่าน้ำที่เป็นประโยชน์และความสำคัญ

Aw	ความสำคัญ
1.00	
0.95	*Pseudomonas, Bacillus,Clostridium perfingens* 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 : Fellows (1993)

กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา : วิไล (2543)

กราฟอัตราการอบแห้ง เป็นกราฟที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการทำแห้ง ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสามารถใช้หาเวลาในการอบแห้งที่สภาวะเดียวกันได้ อย่างไรก็ตามเมื่อสร้างกราฟระหว่างอัตราการอบแห้ง (lb moisture evaporated / hr ft^2) กับปริมาณความชื้นจะได้กราฟที่แสดงกระบวนการอบแห้งที่ดีกว่า ซึ่งจากรูปที่ 2.4 พบว่า สามารถแบ่งอัตราการอบแห้งได้เป็นสองช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate period) และ ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-rate period) ซึ่งเมื่อเริ่มต้นการอบแห้งอาหารจะมีปริมาณน้ำมาก ที่ผิวของอาหารจะมีชั้นน้ำอิสระบางๆปกคลุมอยู่ อัตราการอบแห้งเริ่มต้นในผลิตภัณฑ์อาหารเกิดจากโมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่หรือระเหยจากผิวหน้าสู่อากาศร้อนที่เป็นตัวกลาง ในขั้นแรกนี้ปริมาณน้ำที่ผิวหน้าจะคงที่ตลอด เพราะน้ำที่อยู่ภายในอาหารเคลื่อนที่มาแทนที่น้ำที่ผิวหน้าที่ระเหยไปอย่างเพียงพอที่จะทำให้ปริมาณน้ำยังคงที่ตลอดเวลา อาจกล่าวได้ว่าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมาที่ผิวหน้าอาหารมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำจากผิวหน้าอาหาร ช่วงนี้เรียกว่าช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ หรือ Constant-rate period หรือ ช่วง BC ดังรูป และจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในมาสู่ผิวหน้าอาหารยังคงรวดเร็วเพียงพอต่อการระเหยที่เกิดต่อเนื่องตลอดเวลาจากการไหลอย่างคงที่ของอากาศร้อน เมื่อถึงจุดที่การเคลื่อนย้ายของน้ำภายในอาหารช้าลง จะสิ้นสุดช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เนื่องจากความชื้นโดยเฉลี่ยของอาหารลดลงมีค่าเท่ากับ Xc อาหารที่มีความชื้นต่ำ เช่น พวกเมล็ดพืช จะมีระยะอัตราการอบแห้งคงที่สั้นมากหรือไม่มีเลย อย่างไรก็ตามในช่วงเริ่มต้นหรือช่วง AB ถ้าผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศร้อน อัตราการระเหยจะ

เพิ่มขึ้นในขณะที่มีการปรับอุณหภูมิของอาหารให้สูงขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ในทางตรงข้ามหากอุณหภูมิของอาหารสูงกว่าอากาศร้อน อัตราการอบแห้งเมื่อเริ่มต้นจะลดลงในขณะที่มีการปรับอุณหภูมิอาหารให้ลดลงเท่ากับอุณหภูมิอากาศ หรือแสดงดังรูปที่ 2.4 ในช่วง A'B แต่โดยปกติช่วงการปรับอุณหภูมิจะสั้นมาก จึงมักถูกตัดทิ้งไปในขั้นตอนการอบแห้งและไม่นำมาพิจารณาเวลาในการอบแห้ง

เมื่อความชื้นเฉลี่ยของอาหารมีค่าเท่ากับจุด Xc ซึ่งเป็นความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ปริมาณน้ำที่ผิวหน้าอาหารจะระเหยและลดลงไปอย่างมาก อัตราการอบแห้งช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการเคลื่อนย้ายของน้ำมาที่ผิวอาหาร นั่นคืออัตราการระเหยของน้ำจะมีค่ามากกว่าอัตราการเคลื่อนย้ายของจากภายในมาที่ผิวอาหาร ช่วงนี้เรียกช่วงอัตราการอบแห้งลดลง หรือ Falling-rate period หรือ ช่วง CD รูปแบบของความชื้นของอาหารจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะการอบแห้ง ความชื้นจะมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางของชิ้นอาหารและต่ำสุดที่ผิวหน้าอาหารระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

เมื่อทำการอบแห้งต่อไปจะสามารถกำจัดน้ำอิสระที่อยู่ภายในอาหารจนหมด คือความชื้นลดลงจากจุด D ไปยังจุด E การระเหยจะเกิดเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นที่ผิวหน้าอาหารและภายในอาหาร และอัตราการกำจัดน้ำจะลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำลดลงไปอย่างมากจากการอบแห้ง และเมื่อถึงจุด E การกระบวนการอบแห้งจะสิ้นสุดลง

กลไกของการถ่ายเทมวลภายในอาหารมีผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเกิดขึ้นได้หลายแบบ ดังนี้

1. Liquid diffusion ความชื้นที่ผิวหน้าลดลงต่ำกว่าความชื้นที่เหลืออยู่ภายในอาหาร จะทำให้เกิดแรงขับให้การเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ผิวหน้าอาหารโดยการแพร่ของน้ำ อัตราการแพร่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหาร อุณหภูมิ ความแตกต่างของความเข้มข้นภายในและผิวหน้าอาหาร

2. Vapor diffusion ระหว่างการอบแห้ง อาจเกิดการระเหยใต้ผิวหน้าอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอบแห้งที่ใช้เวลานาน โมเลกุลของน้ำจะแพร่ผ่านอาหารออกมาสู่อากาศร้อน การแพร่ของไอนี้เกิดจากความแตกต่างของความดันไอของอาหารและความดันไอเหนืออาหาร

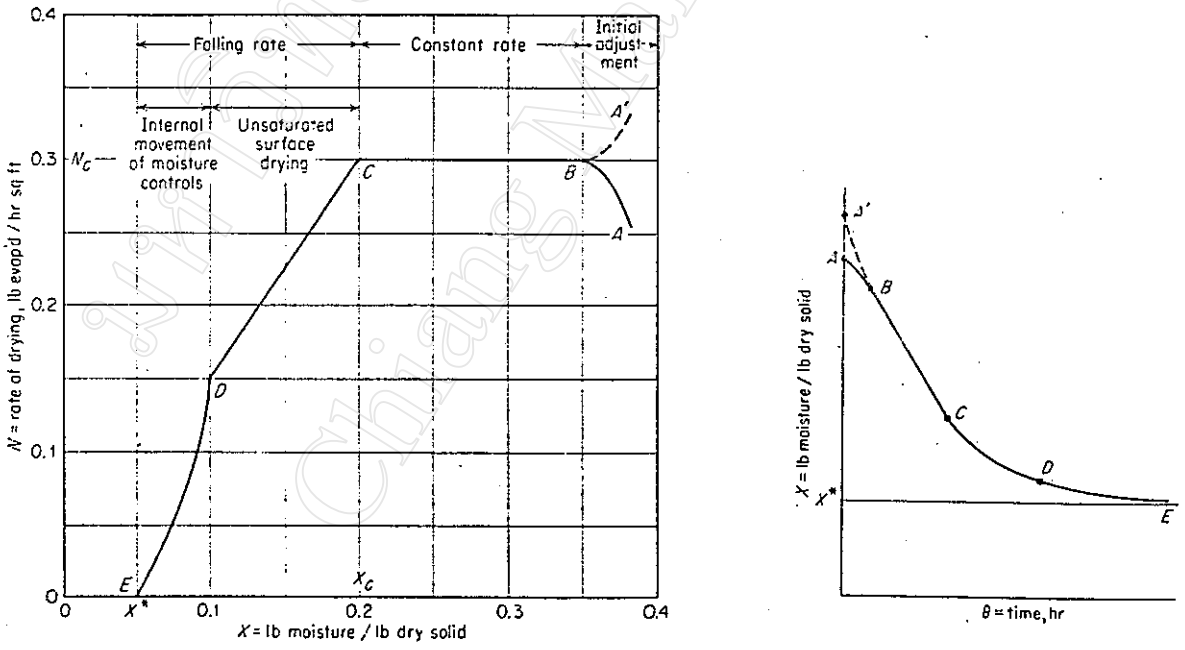
3. Capillary flow แรงตึงผิวมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำในโครงสร้างอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีรูพรุน น้ำอิสระจะเคลื่อนที่ผ่านคะปิลลารีหรือช่องว่างเล็กๆระหว่าง

ของแข็งด้วยกลไลของแรงตึงผิว เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของน้ำมันในไส้ตะเกียง โดยคะปิลลารีจะเป็นรูเปิดที่เชื่อมระหว่างน้ำภายในอาหารและผิวหน้าอาหาร

4.Pressure flow ความแตกต่างระหว่างความดันของอากาศร้อนและโครงสร้างภายในอาหาร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำได้

5. Thermal flow ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวหน้าอาหารและภายในอาหารอาจจะมีความสำคัญต่อการอบแห้งอาหารในช่วงหลัง ซึ่งช่วงให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำมาสู่ผิวอาหาร

อย่างไรก็ตามระหว่างการอบแห้ง อาจเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำโดยหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งกลไก และรายละเอียดของกลไกต่างๆอาจเปลี่ยนแปลงไปได้ระหว่างการอบแห้ง (Heldman and Hartel, 1997 ; Treybal, 1968)



ภาพที่ 2.4 การลดความชื้นของอาหารในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง

ที่มา : Treybal, 1968

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งเป็นรูปแบบการเก็บกักความร้อนแบบหนึ่งโดยมีการจัดการให้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศมาให้ความอบอุ่นยังพื้นโลก แต่จะไม่ให้ความร้อนสะท้อนจากพื้นผิวโลกกลับไปยังชั้นบรรยากาศได้ เนื่องจากความร้อนที่ผ่านมายังพื้นผิวโลกจะแตกต่างจากความร้อนที่กลับออกไปจากพื้นผิวโลก เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งในลักษณะดังกล่าว

การแผ่รังสีแสงอาทิตย์

พลังงานจากดวงอาทิตย์มีหลายรูปแบบแต่ที่เป็นที่รู้จักคุ้นเคยกันมาก ได้แก่ แสงและความร้อน รังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่ตลอดปีเป็นค่าความเข้มในรูปของพลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร รังสีแสงอาทิตย์มีค่า 380 ล้านล้านเมกะวัตต์ เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงโลกจะเหลืออยู่เพียง 170 ล้านเมกะวัตต์ (วิจิตร, 2524)

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยกาซหลายชนิด หยดน้ำ และอนุภาคของแข็ง ซึ่งกั้นแสงแดดที่แผ่เข้ามายังพื้นผิวโลก ส่วนหนึ่งของแสงแดดประมาณร้อยละ 30 จะถูกสะท้อนกลับสู่อวกาศนอกโลกในทันที เรียกพลังงานส่วนที่สะท้อนกลับนี้ว่า อัลเบโด (Albedo) ซึ่งเป็นพลังงานส่วนที่ไม่มีประโยชน์ในโลก ขณะที่ส่วนที่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาในโลกได้ประมาณร้อยละ 70 ก็จะถูกดูดซับ แพร่ หรือสะท้อนกลับโดยชิ้นวัตถุ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

พลังงานที่ตกกระทบถึงผิวโลกจะกระจายมากน้อยต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ช่วงเวลาของปี ระยะห่างจากศูนย์สูตรและอื่นๆ ได้แก่

- องค์ประกอบของบรรยากาศ เช่น ปริมาณเมฆ หรืออนุภาคของแข็ง
- ความหนาของชั้นบรรยากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของพื้นผิวบนโลก มุมของรังสีที่ส่งผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของวันและช่วงเวลาของปี
- มุมตกกระทบของรังสีกับพื้นผิวที่ต้องการวัดปริมาณพลังงาน ยิ่งมุมใหญ่หรือยิ่งรังสีแสงอาทิตย์ทำมุมเอียงมากเท่าใด ความเข้มแสงยิ่งน้อย (วิจิตร, 2524)

การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้วและในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่กับผลผลิตทางการเกษตรซึ่งส่วนใหญ่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งด้วยวิธีตากแดด เวลาที่ใช้ในการตากแห้งขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นของผลิตผล ความหนาของชั้นตากแห้ง และสภาวะอากาศ

แม้ว่าการตากแดดจะได้ผลดี แต่ในบางครั้งเกษตรกรประสบปัญหาผลผลิตเปียกชื้นและไม่สามารถทำได้ทันเวลา ทำให้ผลผลิตเสียหาย เช่น มีเชื้อรา และสารพิษสูงเกินมาตรฐาน เป็นต้น ปัญหาผลิตผลเปียกชื้นมักเกิดในช่วงฤดูฝน ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นพลังงานที่ได้เปล่า สะอาด ปราศจากมลภาวะ แต่การที่จะเก็บเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้นั้นก็ต้องใช้เครื่องอบแห้งซึ่งต้องการการลงทุน (วัฒนพงษ์, 2536)

ตารางที่ 2.5 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนและดูดซับ

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

ที่มา : วิจิตร (2524)

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อาจแบ่งตามแบบการไหลของกระแสอากาศเป็น 2 แบบ คือ

1.เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ (Force convection solar dryer) เครื่องอบแห้งแบบนี้จะใช้พัดลมเป็นตัวขับอากาศให้ไหลภายในเครื่องอบแห้ง เนื่องจากเป็นการสร้างความดันให้เท่ากับความแตกต่างของความดันรวมระหว่างที่ทางเข้าและทางออก เหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กและใหญ่ ลงทุนมากและสร้างยากกว่า แต่สามารถออกแบบให้การทำงานมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างมาก ถ้าต้องมีการอบแห้งจำนวนมากๆ ควรมีพัดลม

ช่วยในการขับอากาศทำให้การหมุนเวียนอากาศเป็นไปด้วยดี ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ใช้พัดลม หรือ Free convection dryer

2.เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ (Free convection dryer) เครื่องอบแห้งชนิดนี้อาศัยหลักการการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งและอากาศภายนอกซึ่งมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้น ซึ่งเหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กที่ต้องการการลงทุนต่ำ สร้างง่าย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่าต่ำ เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศขึ้นกับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

เมื่อมองตามลักษณะการรับพลังงานความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ประกอบกับลักษณะการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งประเภทได้เป็นดังนี้

1.แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะใช้วัสดุใสทำเป็นหลังคา รังสีดวงอาทิตย์จะทะลุผ่านไปยังวัสดุโดยตรง การระเหยน้ำออกจากตัววัสดุเกิดขึ้นเพราะความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกล่อง

2.แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Indirect mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วย ตัวทำความร้อนด้วยรังสีดวงอาทิตย์ (Solar air heater) พัดลม (Fan) หรือโบลว์เวอร์ (Blower) และห้องอบแห้ง (Drying chamber) รังสีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนโดยตัวทำอากาศร้อนก่อนแล้วจึงส่งไปยังวัสดุ โดยมีอากาศเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังเก็บ

3.แบบรังพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม (Mixed mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้เกิดจากการพัฒนาเอาสองแบบแรกมารวมกัน วัสดุจะได้รับความร้อนสองส่วน คือ

- ได้ความร้อนจากการถูกแสงโดยตรง
- ได้จากอากาศร้อนที่มาจากตัวทำอากาศร้อน

การถ่ายเทความร้อนเกิดตรงจุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือที่ใช้ในการอบและวัสดุที่ต้องการทำให้แห้ง (วัฒนพงษ์, 2536)

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar tunnel dryer) **พัฒนาโดย** Institute for Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropics **มหาวิทยาลัย** Hohenheim

เป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม คือสามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม ผลิตเพื่อใช้ในครัวเรือน พลังงานที่ใช้เป็นการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมขนาด 70 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 1,400 รอบต่อนาที อัตราการไหลโดยมวลของอากาศอยู่ในช่วง 0-1,360 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความยาวของเครื่องเท่ากับ 18 เมตร และมีความกว้าง 2 เมตร เหมาะกับพื้นที่เขตร้อนและร้อนชื้นที่ห่างไกลไฟฟ้า และพลังงานรูปแบบอื่นไฟฟ้าที่ต้องการเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมเท่านั้น แต่เครื่องนี้ออกแบบให้ใช้พลังงานจากแผง Solar cell จึงไม่ต้องการพลังงานที่สิ้นเปลืองรูปแบบอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดจะลดเวลาการอบแห้งได้ถึงร้อยละ 50 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าทั้งทางด้าน สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษานานกว่า (Schirmer et al., 1995)

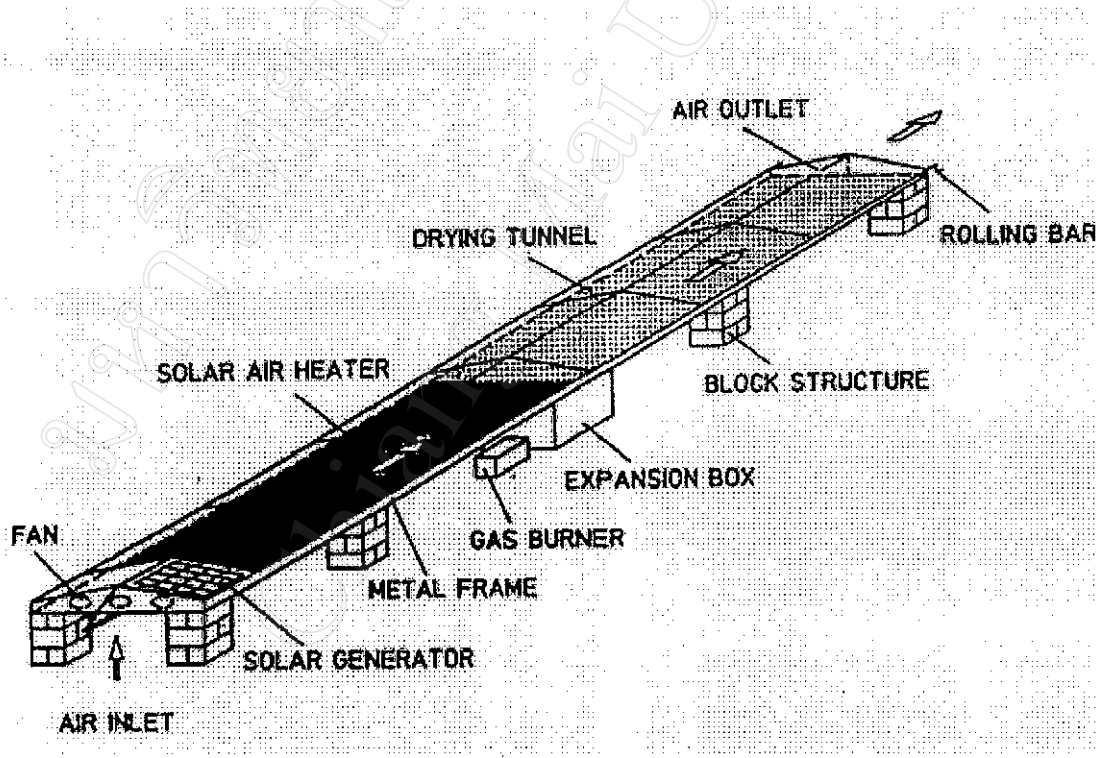
เครื่องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นหลังคาพลาสติกคลุมส่วนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบและส่วนอุโมงค์อบแห้ง อากาศเย็นจะถูกดูดเข้าเครื่องโดยพัดลมผ่านส่วนสะสมความร้อน หรือ Heating area จากนั้นส่งไปยังอุโมงค์อบแห้งหรือ Drying area การไหลของอากาศร้อนจะผ่านชิ้นตัวอย่างอาหารทั้งด้านบนและด้านล่าง จากนั้นอากาศชื้นจะออกทางด้านปลายเครื่อง

Heating area	ส่วนพื้นที่ที่ทาสีดำ คลุมด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีน ความหนา 0.2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 14 ตารางเมตร
Drying area	ปูด้วยตาข่ายเพื่อให้อากาศไหลผ่านด้านล่างของตัวอย่าง คลุมด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีน ความหนา 0.2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 20 ตารางเมตร (Schirmer et al., 1995)

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

Fan	คือ พัดลมดูดอากาศเข้าสู่เครื่องอบแห้งมี 3 ตัว
Air inlet	คือ ช่องที่อากาศถูกดูดเข้าเครื่องโดยพัดลมดูดอากาศ
Solar generator	คือ แผง Solar cell ที่ให้พลังงานขับเคลื่อนแก่พัดลม
Melal frame	คือ โครงโลหะ
Gas burner	คือ ส่วนของพลังงานเสริมจากก๊าซกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์

	ไม่เพียงพอ
Solar air heater	คือ ส่วนที่ทาสีดำใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์และให้ความร้อนแก่อากาศที่ผ่านไปยังอุโมงค์อบแห้ง
Drying tunnel หรือ Drying area	คือ ส่วนอุโมงค์อบแห้ง ใช้วางอาหารที่ต้องการอบแห้ง
Air outlet	คือ ทางออกของอากาศชื้น
Rolling bar	คือ ไม้หมุนโลหะ ใช้เปิดปิดส่วนอุโมงค์อบแห้งโดยการหมุนแผ่นพลาสติกที่คลุมเครื่องขึ้นลง
Block structure	คือ ส่วนฐานที่ก่อด้วยอิฐใช้วางเครื่องเหนือพื้นดินป้องกันการนำความร้อนจากเครื่องไปสู่พื้น



ภาพที่ 2.5 Solar tunnel dryer

ที่มา : Schirmer et. al. (1995)

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

หลักการทั่วไป

เป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศและอุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อให้น้ำระเหยได้เร็วขึ้นแม้จะใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ลักษณะของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ส่วนมากประกอบไปด้วยห้องหรืออุโมงค์ ที่สามารถลดความดันภายในได้ ภายในห้องมีถาดหรือสายพานที่ใช้วางอาหารในการปฏิบัติงาน

อาหารที่นิยมใช้กับวิธีการอบแห้งชนิดนี้มักเป็นอาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิสูง (Heat sensitive food) เช่น ผักหรือผลไม้ที่มีกลิ่นหอม ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสลายตัวของวิตามินบางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อน การสูญเสียกลิ่นรสเนื่องจากการสูญเสียสารระเหยง่ายทั้งหลาย แต่อาจเกิดความเสียหายต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารบ้างในบางครั้ง เพราะในระหว่างการดึงน้ำออกภายใต้สุญญากาศจะทำให้น้ำระเหยเร็วมาก ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้ง เกิดการแข็งและหดตัวทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ผิวหน้าแต่ภายในยังแฉะอยู่ ซึ่งเป็นข้อเสียของการทำแห้งโดยวิธีนี้

ระบบการทำงาน

การอบแห้งในระบบความดันต่ำ จุดเดือดของน้ำจะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยการลดความดัน ถ้าลดความดันบรรยากาศให้ต่ำลงเท่ากับ 0.6107 kPa จุดเดือดของน้ำจะเป็น 0 องศาเซลเซียส ระดับความดันและอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งในระบบนี้ขึ้นอยู่กับความไวต่อความร้อนของวัตถุดิบ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในระบบเป็นแบบการนำความร้อนและการแผ่รังสี อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำระเหยไปจะทำให้อาหารหดตัว ซึ่งจะทำให้พื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนลดลง เครื่องอบแห้งความดันต่ำที่ใช้สำหรับอบแห้งผักและผลไม้เป็นแบบถาดหรือชั้น ในกรณีที่ต้องการกำลังการผลิตสูงสามารถปรับใช้สายพานแบบต่อเนื่อง แต่ต้องมีระบบลดความดันที่มีประสิทธิภาพและขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนใหญ่จะใช้เป็นการอบแห้งในขั้นที่สอง หลังจากที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอบลมร้อน และมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 20-25 เพื่อที่จะลดความชื้นในขั้นตอนนี้ให้เหลือเพียงร้อยละ 1-3

ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 30-60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ คุณสมบัติที่เหมาะสมของวัตถุดิบที่ใช้ควรจะเป็นวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน โดยเฉพาะกรณีที่ไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี เช่น ผลไม้ประเภทส้ม สมุนไพรที่ต้องการให้กลิ่นคงเดิม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดีเนื่องจากอบที่อุณหภูมิต่ำสารระเหยต่างๆยังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ (วิไล, 2543 ; รัตนาและคณะ, 2540) ข้อดีอีกข้อหนึ่งคือ ใช้เวลาน้อยกว่าการทำแห้งแบบเยือกแข็ง และแบบอื่นๆมาก (Teledo, 1980)

ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่าง ๆ

1. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณค่าอาหาร

การอบแห้งจะระเหยไล่ความชื้นหรือน้ำออกจากอาหารและเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีการอบแห้งจะทำให้คุณภาพของอาหารลดลง โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำและถ้ามีการลวกหรือแช่สารเคมีก่อนการอบแห้งเพื่อหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ วิตามินก็จะลดลงอีกโดยเฉพาะอย่างยิ่งการอบแห้งโดยการตากแดด จะส่งผลให้วิตามินลดลงไปมากกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องมืออบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งโดยการตากแดดไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆระหว่างกระบวนการทำแห้ง เช่น ความชื้น อากาศ แสงแดด อุณหภูมิ ส่วนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวได้

2. ผลการอบแห้งที่มีต่อโปรตีน

อาหารโปรตีนจะสูญเสียคุณค่าไปมากน้อยเพียงไรนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการอบอาหารให้แห้ง ถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิสูงโปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อทำให้อาหารแห้งจะสามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้มากกว่า แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

3. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคาร์โบไฮเดรต

การทำให้อาหารแห้งมีผลต่ออาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากจะเกิดปัญหาเรื่องการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้ตากแห้งซึ่งเกิดจาก Non-enzymatic browning หรือ Caramelization ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากปฏิกิริยาของกรดอะมิโนในอาหารกับน้ำตาลรีดิวซิ่ง (Reducing sugar) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาล ซึ่งป้องกันโดยใช้สารเคมี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือ

โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ การรมควันจะสามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารได้ แต่อาหารนั้นต้องมีความชื้นต่ำมากๆ อาหารแห้งจะเกิดสีน้ำตาลถ้าอาหารนั้นมีความชื้นประมาณร้อยละ 30

4. ผลของการอบแห้งต่อปริมาณไขมัน

ถ้าใช้อุณหภูมิการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเกิดการเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำหรือใช้สารเคมีบางชนิดป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้พวกสารกันหืน เช่น BHT (Butylated hydroxy toluene)

5. ผลของการอบแห้งต่อเอนไซม์

เอนไซม์จะหยุดกิจกรรมเมื่อใช้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในกระบวนการอบแห้ง (Dehydration) หรือ Drying ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะทนทานถึง 204 องศาเซลเซียส ดังนั้นในกระบวนการอบแห้ง จึงต้องลวกน้ำร้อนก่อนหรือใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในอาหารที่จะนำไปอบแห้ง นอกจากนี้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของอาหาร ถ้าความชื้นในอาหารลดลงปฏิกิริยาก็ลดลงด้วย แต่อัตราเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์และอาหาร ถ้าความชื้นลดต่ำกว่าร้อยละ 1 ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้น

6. ผลของการอบแห้งต่อเม็ดสีในอาหาร

อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป สีของอาหารจะเปลี่ยนไป เม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโธไซยานินจะซีดจางลงถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน หรือใช้สารอาหารบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถัน จะทำให้สีของอาหารจางลง ดังนั้นพวกผักและผลไม้จึงมีการตรึง (fix) สีเสียก่อนอบแห้ง โดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่นสารละลายด่างอ่อน จะไม่ทำให้ผักผลไม้มีสีจางลงหรือมีสีน้ำตาล แต่อาหารจะแข็งกระด้างขึ้น การอบแห้งยังสามารถเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ หรือ Maillard Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางอินทรีย์สารเกิดจากกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซิ่งซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลและทำให้กลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนไป (กุลยา,2540)

7. ผลของการอบแห้งต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารแข็ง เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพ ลักษณะและการจัดการเบื้องต้น เช่น การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำลวก ชนิดและลักษณะการลดขนาดและการปอกเปลือก ล้วนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ที่นำมาดูดคืนน้ำใหม่ ในอาหารที่ได้ผ่านการลวกอาจเกิดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากการเกิดเจลของแป้ง การตกผลึกของเซลลูโลส การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งส่วนต่างๆ ของอาหารทำให้เกิดความเครียดภายใน ปัจจัยเหล่านี้จะอัดและเปลี่ยนรูปร่างเซลที่ค่อนข้างแข็ง ทำให้อาหารมีลักษณะเหี่ยวย่น อาหารจะดูดคืนความชื้นอีกครั้งในระหว่างการดูดคืนน้ำอย่างช้าๆ แต่จะไม่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นเหมือนวัตถุดิบเดิม

อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งมีผลมากต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยทั่วไป การทำแห้งโดยรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่า ตัวละลายจะเคลื่อนที่จากภายในของอาหารไปที่ผิว ระหว่างที่น้ำจะถูกกำจัดออกระหว่างการทำแห้ง กลไกและอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะสำหรับตัวละลายแต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะการทำแห้ง การระเหยน้ำทำให้ตัวทำละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของอากาศทำให้อาหาร โดยเฉพาะผลไม้ ปลาและเนื้อ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าอาหารและทำให้ผิวอาหารแห้งแข็ง หรือที่เรียกว่า การเกิดผิวแห้งแข็ง (Case hardening) ซึ่งเป็นปัจจัยที่จะไปลดอัตราการทำแห้ง และทำให้อาหารมีผิวหน้าแห้งแต่ภายในชื้น การควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในและที่ผิวของอาหาร จะช่วยลดเหตุการณ์ดังกล่าวได้

8. ผลของการอบแห้งต่อกลิ่นและรส

ความร้อนนอกจากจะทำให้น้ำระเหยแล้ว ยังทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไอและความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารหอมระเหย สารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหยและการแทนที่สูงจะเกิดการสูญเสียในช่วงแรกของการอบแห้ง มีสารระเหยปริมาณน้อยที่เกิดการสูญเสียช่วงหลังของการทำแห้ง การควบคุมสภาวะการทำแห้งในแต่ละขั้นตอนจะช่วยลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด อาหารให้กลิ่นรสที่มีมูลค่าสูง เช่น สมุนไพร และเครื่องเทศ จะใช้อุณหภูมิในการกำจัดน้ำต่ำ ปฏิกิริยาออกซิเดชันรงควัตถุ วิตามิน และไขมันในอาหารระหว่างการเก็บรักษาก็เป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียกลิ่น อาหารแห้งซึ่งมีรูอยู่มากจะ

ทำให้มีกาซออกซิเจนอยู่มากด้วย อุณหภูมิในการเก็บรักษาและค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ จะเป็นตัวกำหนดอัตราการเสื่อมเสียของอาหาร ปฏิกิริยาออกซิเดชันของนมผงแห้งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน ผักและผลไม้มีไขมันเพียงเล็กน้อย แต่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันจะทำให้เกิดไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ดีไฮเดรชัน หรือออกซิเดชันและกลายเป็นแอลดี-ไฮด์ คีโตน และกรดซึ่งทำให้เกิดการเหม็นหืน สามารถลดปฏิกิริยาเหล่านี้ได้โดยการบรรจุผลิตภัณฑ์ในสุญญากาศ หรือเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ การกำจัดแสงอุลตร้าไวโอเลต การรักษาความชื้นให้ต่ำ และการเติมสารที่สามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน อัตราการเกิดสีน้ำตาลในนมหรือผลิตภัณฑ์ผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษานั้นขึ้นอยู่กับค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารและอุณหภูมิการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิการทำแห้งสูงเมื่อความชื้นของ ผลิตภัณฑ์สูงกว่าร้อยละ 4-5 และอุณหภูมิการเก็บรักษาเกิน 38 องศาเซลเซียส

9. ผลของการอบแห้งต่อการดูดคืนน้ำ

การดูดคืนน้ำไม่ใช่ปฏิกิริยาย้อนกลับของการทำแห้ง การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวละลายและการสูญเสียสารระเหยไม่สามารถเกิดแบบย้อนกลับไปเหมือนเดิมได้ ความร้อนลดระดับการดูดคืนน้ำของแป้งและความยืดหยุ่นของผนังเซล ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและระดับของการดูดคืนน้ำอาจใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ อาหารที่ทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมากกว่าจะเกิดความเสียหายน้อยกว่า และดูดคืนน้ำได้เร็วกว่าอาหารที่ทำแห้งที่สภาวะที่เหมาะสมน้อยกว่า (วิไล, 2543)

10. ผลของการอบแห้งต่อจุลินทรีย์

แม้ว่าจุลินทรีย์บางชนิดจะตายระหว่างการทำแห้งอาหาร แต่โดยทั่วไปแล้วการทำแห้งไม่มีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ และการเสียของอาหารแห้งมักมีจุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญ เนื่องจากแบคทีเรียต้องการปริมาณค่าน้ำที่เป็นประโยชน์หรือ Aw มากกว่า 0.90 ดังนั้นแบคทีเรียจึงไม่มีบทบาทในการเสียของอาหารแห้ง ยีสต์และราเท่านั้นที่มีบทบาทสำคัญต่อการเสียของอาหารแห้ง อาหารที่มี Aw 0.8-0.85 จะเสียภายใน 1-2 อาทิตย์ โดยมีราเป็นสาเหตุ ถ้าอาหารมี Aw ต่ำกว่า 0.75 การเสียจะเกิดช้า และมีจุลินทรีย์เพียงไม่กี่ชนิดที่ทำลายได้ ถ้าอาหารมี Aw 0.70 การเสียจะเกิดช้ามาก และหากอาหารมี Aw 0.65 การเสียแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย และ

สามารถเก็บอาหารนี้ได้นานมากกว่า 2 ปี ดังนั้นถ้าต้องการเก็บอาหารแห้งไว้นานๆ ควรทำแห้งอาหารจนมี Aw อยู่ระหว่าง 0.65-0.70 (อรัญ, 2530)

การเก็บและการลดการสูญเสียคุณภาพของอาหารแห้ง

การเก็บอาหารแห้งควรพิจารณาถึง Alarm water ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่ควรมีในอาหารในระดับที่จะไม่ให้ราเจริญได้ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่า Alarm water ของอาหารต่างๆ (ซึ่งมีร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)

ชนิดของอาหาร	น้ำ (ร้อยละ)
นมผง	8
ไข่ผง	10-11
แป้งข้าวสาลี	13-15
ข้าว	13-15
ผักแห้ง	14-20
ผลไม้แห้ง	18-20
เนื้อแห้ง (ไม่มีไขมัน)	15

ที่มา : อรัญ (2530)

อาหารแห้งจะมีการสูญเสียคุณภาพอาหาร เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีและเอนไซม์ในอาหาร เช่น การเหม็นหืน Maillard reaction การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนสีและโครงสร้าง การลดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำได้โดย

1. รักษาความชื้นในอาหารให้ต่ำมากๆ
2. ลดปริมาณของน้ำตาลรีดิวซิ่งลง
3. เมื่อทำการลวกควรใช้น้ำที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำต่ำ
4. เติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการป้องกันการเสียของอาหารแห้งจากเชื้อรา คือ ควรรักษาความชื้นของสภาวะแวดล้อมให้ต่ำและเก็บอาหารไว้ภายในภาชนะปิดมิดชิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นของอาหาร (อรัญ, 2530)

สารออสโมติก (Osmotic substance) หรือ Humectant

เป็นสารที่ใช้เพื่อเพิ่มแรงดันออสโมติกให้แก่สารละลายเพื่อให้เกิดการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารด้วยความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติกของสารละลายและชิ้นอาหาร สารออสโมติกจะต้องมีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ไม่มีพิษ ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร และมีคุณสมบัติในการเพิ่มแรงดันออสโมติกอย่างสูง โดยทั่วไปสารที่นิยมได้แก่ น้ำตาลซูโครส แลคโตส กลูโคส ฟรุคโตส มอลโตเดกซ์ตริน และ Corn syrup นอกจากนี้ยังได้มีการใช้น้ำตาลแอลกอฮอล์ (Polyol) เช่น กลีเซอรอลและเกลือโซเดียมคลอไรด์ อย่างไรก็ตามการใช้เกลือจะไม่เป็นที่ยอมรับด้านรสชาติเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสเค็มมากเกินไป

การเลือกใช้สารออสโมติกชนิดใดนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ วิธีที่นำมาใช้วัดคุณภาพของสารออสโมติกได้แก่ อัตราการกำจัดน้ำ และปริมาณน้ำสุดท้ายที่เหลืออยู่ในอาหาร สารละลายน้ำตาลเป็นสารออสโมติกที่นิยมใช้มากที่สุดในการกำจัดน้ำออกจากผลไม้ ส่วนกลีเซอรอลและเกลือมักใช้กับผัก น้ำตาลซูโครสเป็นชนิดของน้ำตาลที่นิยมมากที่สุด อาจมีการใช้กลูโคสและฟรุคโตสบ้าง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัดน้ำจะไม่แตกต่างกันเลย แต่เมื่อเทียบประสิทธิภาพของซูโครสและมอลโตเดกซ์ตรินพบว่าซูโครสมีประสิทธภาพสูงกว่าเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นเดียวกัน บางครั้งอาจใช้สารหลายชนิดร่วมกัน เช่นการใช้ซูโครสร้อยละ 52 ร่วมกับฟรุคโตสร้อยละ 42 มอลโตสร้อยละ 3 โพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 3 และเกลือร้อยละ 0.5 ในการทำแอปเปิ้ลอบแห้ง การใช้เกลืออิ่มตัวลดปริมาณน้ำในพริก มะเขือเทศ และมะเขือทำให้ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ลดลงเหลือ 0.8 การใช้โซเดียมและโพแทสเซียมคลอไรด์ทำให้ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมเพิ่มมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ข้าวโพดและถั่วเขียว (Mujumdar, 1995)

นอกจากนี้พบว่าการใช้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ กรดมาลิก กรดแลคติก และกรดไฮโดรคลอริก ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1-5 ร่วมกับการใช้ซูโครส สามารถปรับปรุงกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันได้ เนื่องจากช่วยให้น้ำเคลื่อนที่ออก

จากเซลได้เร็วขึ้น การใช้แคลเซียมคลอไรด์และกรดมาลิคร่วมกับซูโครสสามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของแอปเปิ้ลอบแห้งได้ด้วย (Mujumdar, 1995)

ประโยชน์ของการใช้สารออสโมติก

1. เนื่องจากเกิดการออสโมซิสของน้ำออกจากเนื้อเยื่ออาหารก่อนการทำแห้ง ทำให้สามารถกำจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อได้ส่วนหนึ่ง จึงช่วยให้ประหยัดพลังงานในขั้นตอนการอบแห้ง อย่างไรก็ตามในกระบวนการออสโมซิสเกิดการใช้พลังงานบ้างขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ เช่น การใช้พลังงานในการรักษาอุณหภูมิกรณีที่มีการให้ความร้อนต่อระบบออสโมซิส หรือ การใช้พลังงานในระบบการเคลื่อนที่สารละลายออสโมติกกรณีที่มีการแช่แบบ dynamic ทั้งนี้ยังเกี่ยวข้องกับการละลายสารเพิ่มเมื่อสารละลายเจือจางลงหลังกระบวนการ หรืออาจมีการระเหยน้ำออกจากสารละลาย เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้สารละลายออสโมติก ซึ่งจะใช้พลังงานประมาณ 1 KJ ต่อน้ำที่ต้องการระเหย 1 กิโลกรัมเป็นต้น

2. ผักผลไม้เมื่อนำมาแช่ในสารละลายออสโมติก เมื่อนำไปอบแห้งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติดีขึ้นอันเนื่องมาจากการทำออสโมติก และตัวถูกละลายบางส่วน เช่น กรด เกลือ และน้ำตาล ที่มีอยู่ในผักผลไม้จะออสโมซิสออกไปกับน้ำด้วย

3. ผักผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแช่สารละลายออสโมติก ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง เป็นผลให้กลิ่นผักผลไม้คงอยู่มากกว่า

4. ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่ผักผลไม้สูง ทำให้เอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ทำงานช้าลง เป็นผลให้สีผักผลไม้ไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Mujumdar, 1995)

จากการที่มีการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นระหว่างเนื้อเยื่ออาหารและสารละลายออสโมติก ทำให้เกิดการดึงน้ำออกจากอาหาร และยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นคุณสมบัติของวัสดุอบแห้งได้จึงแตกต่างจากวัสดุที่ผ่านการอบแห้งแบบดั้งเดิม เช่น เกิดการเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสในเนื้อเยื่อ และอัตราการเพิ่มขึ้นของซูโครสจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วม เกลือโซเดียมคลอไรด์สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่ออย่างมีประสิทธิภาพจึงอาจทำให้เกิดรสเค็มเด่น กรดอินทรีย์จะลดลงร้อยละ 29-40 และน้ำตาลภายในเนื้อเยื่ออาจถูกแทนที่ด้วยซูโครส (Lerici et al., 1983) การแทรกซึมของสารจากสารละลายเข้าสู่เนื้อเยื่อเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของอาหารเท่านั้น เช่น น้ำตาลแทรกซึมเข้าไปได้ 2-3 มิลลิเมตร ขณะที่การ

ดึงน้ำออกเกิดขึ้นได้ลึกถึง 5 มิลลิเมตร ทั้งนี้ยกเว้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีความสามารถในการแทรกซึมได้ดีกว่า เช่น เมื่อใช้กับแครอท สามารถแทรกซึมได้ถึง 12 มิลลิเมตร

การใช้สารละลายออสโมติกสามารถลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารลงได้ เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำในอาหารลดลงและเกิดการแพร่ของสารจากภายนอกเข้าไปในเนื้อเยื่อ พบว่า Water binding capacity ของเนื้อเยื่ออาหารลดลงถึง 6 เท่า หลังกระบวนการแช่สารละลายเพียงครึ่งชั่วโมง (Mujumdar, 1995)

วัตถุเจือปนในอาหาร

● กรดซอร์บิคและเกลือซอร์เบท

มีการใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลกโดยเฉพาะในรูปของกรดซอร์บิคและเกลือโพแทสเซียม-ซอร์เบท ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารรวมไปถึงอาหารสัตว์ ยา และเครื่องสำอาง ปริมาณที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.3 เช่น ในผลิตภัณฑ์เนยแข็ง เนยเทียม ผักและผลไม้ขนมอบ ผลิตภัณฑ์อิมัลชั่น ปลา เนื้อและลูกกวาด สูตรโครงสร้างของกรดซอร์บิคและเกลือโพแทสเซียมซอร์เบทเป็นดังนี้

CH_3-CH=CH-CH=CH-COOH
กรดซอร์บิค

CH_3-CH=CH-CH=CH-COOK
โพแทสเซียมซอร์เบท

กรดซอร์บิคมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 112.3 และมีหมู่คาร์บอกซิลและพันธะคู่ที่ไวต่อปฏิกิริยา ความสามารถในการละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 0.15 ที่อุณหภูมิห้อง ที่อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้น ขณะที่เกลือซอร์เบทมีความสามารถในการละลายสูงกว่ามาก กล่าวคือ ที่อุณหภูมิห้องเกลือซอร์เบทมีความสามารถในการละลายเท่ากับร้อยละ 138

กรดซอร์บิคในทางการค้ามีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือเป็นเม็ดเล็กๆ มีรสและกลิ่นเป็นกรดเล็กน้อย โซเดียมซอร์เบทอาจเป็นผงสีขาวหรืออยู่ในรูปสารละลาย และแคลเซียมซอร์เบท มีสีขาว ไม่มีกลิ่น รส มีลักษณะเป็นผง

กลไกในการยับยั้งจุลินทรีย์

กรดซอร์บิคและเกลือซอร์เบท ยับยั้งยีสต์และราได้ดีกว่าแบคทีเรีย ดังนี้

การยับยั้งเชื้อยีสต์ ใช้มากในอาหารจำพวกผักดอง น้ำผลไม้ ไวน์ ผลไม้แห้ง ผลิตภัณฑ์เนื้อปลา โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มอัดกาซ ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ น้ำเชื่อม แยม ลูกกวาด และช็อกโกแลต

การยับยั้งเชื้อรา ใช้กับอาหารประเภท เนยเทียม เนยแข็ง ไส้กรอก ปลารมควัน น้ำผลไม้ ธัญพืช ขนมปัง เค้ก โดยมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตและการสร้างสารพิษของเชื้อรา

การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย แบคทีเรียบางชนิด เช่น Lactic acid bacteria รวมทั้งยีสต์และราที่ยับยั้งได้ยากสามารถต่อต้านผลของซอร์เบทได้ เนื่องจากการที่กรดซอร์บิคเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่ง เชื้อจุลินทรีย์จึงสามารถ Metabolite ได้ ตัวอย่างเช่น เชื้อ *Penicillium* , *Aspergillus* , *Mucor spp.* พบว่า กรดซอร์บิคมักถูก Metabolite ในผลิตภัณฑ์เนยแข็ง ผักและผลไม้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ ความเข้มข้นของซอร์เบทที่ใช้ ปริมาณเชื้อเริ่มต้นและชนิดของอาหาร การ Metabolite ซอร์เบททำให้เกิด Kerosone สีและกลิ่นพลาสติก ซึ่งเกิดจากการสร้าง 1,3-pentadiene การย่อยสลายซอร์เบทโดย Lactic acid bacteria มักเกิดในไวน์ และผักดอง

ปฏิกิริยาการยับยั้งจุลินทรีย์ของกรดซอร์บิค ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของอาหาร เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ปริมาณเชื้อเริ่มต้น สารเคมีเจือปนที่ใช้ อุณหภูมิการเก็บรักษา ปริมาณกาซในอากาศ และชนิดของภาชนะบรรจุ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของซอร์เบท คือ ความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์จะสูงเมื่ออยู่ในสภาพที่ไม่แตกตัวคือ ความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6.5 โดยในสภาพที่ไม่แตกตัวมีประสิทธิภาพดีกว่าในสภาพแตกตัว 10-100 เท่า (Joseph and Anthony, 1995)

ความเป็นพิษของกรดซอร์บิคมีน้อยมาก ได้มีการทำการทดลองในสัตว์ทดลอง ได้แก่ หนู กระต่าย และสุนัข เพื่อทดสอบความเป็นพิษทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง และผลต่อการเกิดเนื้องอก มะเร็ง และกระบวนการสืบพันธุ์ พบว่าความเข้มข้นของซอร์เบทที่ใช้ในอาหาร ไม่มีพิษ

ใดๆหรือมีน้อยมาก และถือว่าเป็นสารเจือปนอาหารที่มีพิษน้อยกว่าชนิดอื่นๆ (Joseph and Anthony, 1995) Lethal dose (LD_{50}) ของกรดซอร์บิค โพแทสเซียมซอร์เบท และโซเดียม-ซอร์เบท ในหนูอยู่ในช่วง 7.4-10.5 , 4.2-6.2 และ 5.9-7.2 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ตามลำดับ และองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดปริมาณการบริโภคซอร์เบทต่อวันไว้เท่ากับ 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าซอร์เบทสามารถลดการสร้างสารก่อมะเร็ง (Nitrosamine) เมื่อใช้ควบคู่กับสารโซเดียมไนไตรท์ในการผลิตเบคอนเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค *Clostridium botulinum* เนื่องจากสามารถลดการใช้โซเดียมไนไตรท์ลง (Joseph and Anthony, 1995)

- **ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์**

คุณสมบัติทางเคมีและการใช้ประโยชน์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่มีการใช้มานานที่สุด เป็นสารไม่มีสีในรูปของกาซหรือของเหลว มีน้ำหนักโมเลกุล 64.06 ที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันปกติไม่ติดไฟ มีกลิ่นฉุนทำให้หายใจไม่ออก เมื่อละลายน้ำจะได้กรดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัว และไอออนของไบซัลไฟต์ (HSO^-_3) และซัลไฟต์ ($SO^{=}_3$) ความคงตัวของซัลไฟต์มากกว่าไบซัลไฟต์ และเมตาไบซัลไฟต์ตามลำดับ (Joseph and Anthony, 1995) การกระจายตัวของชนิดไอออนต่างๆในสารละลายกรด ซัลฟูรัสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่มากกว่า 9.5 จะมีแต่ซัลไฟต์ไอออน และช่วงความเป็นกรด-ด่าง 4-9.5 พบว่ามีไอออนของซัลไฟต์และไบซัลไฟต์ และที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5 หรือน้อยกว่า จะไม่พบไอออนซัลไฟต์เลย ไบซัลไฟต์ไอออนจะมีมากที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.0 แต่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์อิสระในสารนี้จะมีค่าประมาณสองส่วนสามหรือมากกว่าที่ช่วงความเป็นกรด-ด่าง 2 – 5 ส่วนกรดซัลฟูรัสจะมีมากที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำมาก ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงร้อยละของซัลเฟอร์ไดออกไซด์อิสระที่ความเป็นกรด-ด่าง ช่วงต่างๆ

ความเป็นกรด-ด่าง	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ร้อยละ)
1.0	86
2.0	37
2.5	16
3.0	6
4.0	0.5

ที่มา: ไพบูลย์ (2529)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของกรดซัลฟูรัส ที่ความเป็นกรด-ด่าง 3.5 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต้องใช้เป็น 2-4 เท่าของปริมาณที่ใช้ที่ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.5 ขณะที่ความเป็นกรด-ด่าง 7.0 ซัลไฟต์จะไม่มีผลต่อเชื้อยีสต์และรา และปริมาณที่ต้องใช้ในการยับยั้งแบคทีเรียในน้ำแอปเปิ้ลถึง 1000 ส่วนในล้านส่วน และปริมาณกรดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัวจำนวน 14 ส่วนในล้านส่วนจะสามารถหยุดการเจริญของเชื้อ *Saccharomyces ellipsoideus* ได้ในขณะที่ซัลไฟต์ไอออนต้องใช้ถึง 100 ส่วนในล้านส่วน จึงสามารถหยุดการเจริญของแบคทีเรียได้

รูปแบบที่ใช้ในการถนอมอาหาร ได้แก่ กาซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เกลือซัลไฟต์ เช่น โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โพแทสเซียมซัลไฟต์ (K_2SO_3) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ($K_2S_2O_5$) ซึ่งเกลือซัลไฟต์นี้จะนิยมใช้กันมากที่สุดเพราะใช้สะดวก ปริมาณที่อนุญาตให้ใช้จะแตกต่างกันตามชนิดของอาหาร ในกรณีที่ใช้บริโภคโดยตรงต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

วิธีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการจุ่มตัวอย่างลงในสารละลายเมตาไบซัลไฟต์ จะใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 3-9 กรัมต่อลิตร โดยเมื่อใช้โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 1 กรัมต่อลิตร หมายถึงมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 500 ส่วนในล้านส่วน ขณะที่โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 1 กรัมต่อลิตร หมายถึงมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 660 ส่วนในล้านส่วน

ตาราง 2.8 สูตรทางเคมีและและปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารซัลไฟต์ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหาร

สารเคมี	สูตร	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผลลัพธ์ทางทฤษฎี (ร้อยละ)	ซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ขั้นต่ำ (ร้อยละ)	การละลายโดยประมาณ (กรัม/100มล.)
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO_2	100	95	11 ที่ 20 ^{0}C
โซเดียมซัลไฟต์ (แห้ง)	Na_2SO_3	50.82	48	28 ที่ 20 ^{0}C
โซเดียมซัลไฟต์ (มีน้ำ)	$Na_2SO_3.7H_2O$	25.41	24	24 ที่ 20 ^{0}C
โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์	$NaHSO_3$	61.56	60	300 ที่ 20 ^{0}C
โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์	$Na_2S_2O_5$	67.39	64	82 ที่ 20 ^{0}C
โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์	$K_2S_2O_5$	57.60	-	54 ที่ 20 ^{0}C
แคลเซียมไฮโดรเจนซัลไฟต์	$Ca(HSO_3)_2$	-	-	25 ที่ 20 ^{0}C

ที่มา : ไพบูลย์ (2529)

คุณสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้มากกว่า ยีสต์และรา โดยมีผลต่อแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกและกรดมาโลแลคติก ยีสต์และราที่มีผลทำให้ผลไม้เสื่อมเสีย โดยการทำปฏิกิริยากับหมู่ –SH เช่น Cystein และ Thiamine ในเอนไซม์ของเซลจุลินทรีย์ นอกจากนี้สารนี้ยังจะไปรวมตัวกับผลิตภัณฑ์ที่ได้หรือที่เกิดระหว่างปฏิกิริยา ซึ่งจะไปทำให้ปฏิกิริยาต่อเนื่องของเอนไซม์หยุดชะงักไป และเชื่อกันว่าเนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารรีดิวซ์ ซึ่งจะไปลดค่าแรงตึงของออกซิเจนในเนื้อเยื่ออาหารหรือในเครื่องดื่มให้ต่ำลงถึงจุดที่จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนจะเจริญได้ นอกจากนี้ซัลไฟต์ยังสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติก ได้แก่ *Lactobacillus* , *Pediococcus* และ *Lueconostoc* ในไวน์ ยับยั้งการจริญเติบโตของ *Clostridium botulinum* ในผลิตภัณฑ์หมูกระป๋อง นอกจากนี้พบว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแกรมลบ (Joseph and Anthony, 1995)

ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ ในระหว่างการเตรียมผักและผลไม้เพื่ออบแห้งนั้นมักเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อช่วยรักษาสีและกลิ่นรสในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาต่อไป การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเอนไซม์ในระหว่างการเตรียม

นอกจากนี้ยังป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับผลิตภัณฑ์ผลไม้เป็นลักษณะการใช้ชั่วคราว และมักเติมในวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ แล้วไล่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในขั้นตอนการแปรรูปด้วยวิธีใช้ความร้อนหรือสุญญากาศ ดังนั้นปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงเหลืออยู่น้อยมาก

การรักษาคุณภาพที่ต้องการในผลไม้อบแห้งนั้น พบว่าต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณที่มากเกินพอ เพราะว่าปริมาณที่ต้องการใช้ไม่เพียงแต่ใช้ป้องกันจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ยังต้องเป็นปริมาณที่สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เอนไซม์และการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ตลอดจนยับยั้งปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดการสูญเสียสีและวิตามิน ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.01-0.2 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ปริมาณความชื้นสุดท้าย และสภาพการเก็บ สภาวะของดินฟ้าอากาศระหว่างการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ จะมีผลกระทบต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของผลไม้แห้ง โดยเฉพาะปริมาณที่เหลืออยู่ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่ถ้าระหว่างการรมควันทำได้สม่ำเสมอก็จะสามารถกำหนดเวลาให้แตกต่างกันเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้ (ไพบูลย์ ,2529)

FAO และ WHO รายงานว่าปริมาณการบริโภคต่อวันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับ 0.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน นอกจากนี้ GRAS รายงานว่า การได้รับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อคน (Joseph and Anthony, 1995)

สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ได้ในอาหารนั้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้กรดซัลฟูรัส หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมไบซัลไฟต์ หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยคิดคำนวณเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยอนุญาตให้ใช้ในผลไม้แห้งและผักแห้งได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 2500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในอาหารชนิดอื่นยกเว้นเนื้อและน้ำตาลทรายดิบ ใช้ได้ปริมาณสูงสุดไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศิวาพร, 2529)

• **โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์** (Polyhydric alcohols)

โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์หรือโพลีออล (Polyols)นั้น เป็นสารที่พบว่า ถ้าหากมีอยู่ในอาหารแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดีขึ้น เช่น มีการตกผลึกช้าลง มีความคงตัวดีขึ้น เพิ่มความหนืดให้กับอาหาร ช่วยให้มีการละลายดีขึ้น ช่วยรักษาความชื้นในอาหาร และช่วยยืดอายุการเก็บอาหารด้วย ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งที่ต้องนำมาทำให้คืนตัวก่อนการบริโภค การที่จะผลิตอาหารแห้งที่คืนตัวแล้วมีสภาพคล้ายอาหารสดนั้น จะทำได้ค่อนข้างยาก ส่วนใหญ่เมื่อคืนตัวแล้วมักจะมีสีกลิ่นรสและและคุณค่าทางอาหารและลักษณะเนื้อสัมผัสผิดปกติไปจากของสด การใช้โพลีออลผสมลงไปพบว่า จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยกว่าจะทำให้อาหารไม่จับตัวเป็นก้อน ในการที่โพลีออลสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นั้น เนื่องจากโพลีออลจะมีคุณสมบัติคล้ายน้ำตาล คือที่ความเข้มข้นสูงๆ จะสามารถ ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โพลีออลมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น กลีเซอรอล หรือ กลีเซอรีน โพรพีลีนไกลคอล ซอร์บิทอล และแมนนิทอล เป็นต้น

สารประกอบพวกโพลีออลนั้นพบว่าจะมีความคงตัวของสารเคมีและความร้อนได้ดีกว่าสารประกอบประเภทน้ำตาล เมื่อใช้ในการแปรรูปอาหารจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่า ส่วนคุณสมบัติโดยทั่วไปของโพลีออล คือสามารถละลายน้ำ ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี เมื่อใส่ลงในอาหารจะทำให้ความหนืดของอาหารเพิ่มขึ้น และจะมีรสหวานตั้งแต่ครึ่งหนึ่งของน้ำตาลจนถึงสูงกว่าน้ำตาลเล็กน้อย จากตารางที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโพลีออลเพิ่มมากขึ้น จุดหลอมเหลว จุดเดือดและความหนืดจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการละลายในสารละลายประเภทไม่มีขั้วจะลดลงและความสามารถในการดูดความชื้นจะลดลงด้วย น้ำตาลส่วนมากจะมีคุณสมบัติคล้ายกับโพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ และถึงแม้ว่าน้ำตาลจะเป็น Polyhydroxy compounds แต่ในน้ำตาลจะมี Aldehyde linkage อยู่ด้วยจึงเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการคงตัวต่อความร้อนเสียไป การที่โพลีออลมีความสำคัญต่อวงการอุตสาหกรรมนั้นเนื่องมาจากคุณสมบัติต่างๆของโพลีออลนั่นเอง เช่น ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการให้ความหนืดและรสหวานของโพลีออล

ความสามารถในการละลายน้ำของโพลีออลขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลเช่นกัน โพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ เช่น กลีเซอรีน สามารถละลายน้ำได้ไม่จำกัดจำนวน แต่เมื่อน้ำหนัก

โมเลกุลของโพลีออลเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการตกผลึกจะมากขึ้นด้วย จึงทำให้ความสามารถในการละลายของโพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆลดลง

ความสามารถของโพลีออลในการที่จะดูดซับหรืออุ้มความชื้นของอาหารไว้ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นปานกลางหรือความชื้นสูงขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของโพลีออล ปกติแล้ว โพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ จะมีความสามารถในการดูดซับหรือเก็บความชื้นของอาหารได้น้อย ยกเว้น Xylitol เท่านั้น พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของน้ำตาลอินเวอร์ท (Invert sugar) จะค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับโพลีออลชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ผลของการเป็นผลึกของโพลีออลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ พบว่า พวกโพลีออลที่เป็นผลึกจะมีการดูดซับน้ำน้อยมาก ซึ่งเป็นประโยชน์ต่ออาหารชนิดผง เพราะสามารถคงตัวอยู่ได้แม้ว่าจะมีความชื้นสูง นอกจากนี้ยังพบว่าโพลีออลสามารถช่วยควบคุมอัตราเร็วของการเพิ่มหรือสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารได้ ปกติแล้วการเพิ่มหรือสูญเสียความชื้นจะเกิดขึ้นน้อยมาก ถ้าหากโพลีออลที่ใช้เป็นชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ การตัดสินใจเลือกใช้โพลีออลชนิดใดก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการ ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์

คุณสมบัติ	Propylene glycol	Glycerine	Sorbitol	Manitol
น้ำหนักโมเลกุล	76	92	182	182
จุดหลอมเหลว(^{0}C)	super cool	18.6	Metastable	166
จุดเดือด (^{0}C) 760 mm	187	290,สลายตัว	สลายตัว	สลายตัว
ความหนาแน่น 25 ^{0}C	1.036	1.2613	1.49	1.49
ความหนืด cp. 25 ^{0}C	44.0	954	ของแข็ง	ของแข็ง
ความสามารถในการดูดความชื้น	สูง	สูงปานกลาง	ต่ำปานกลาง	ต่ำ
ตัวทำละลาย (สำหรับน้ำมัน)	ดี	ดีพอควร	ไม่ดี	ไม่ดี
การละลายน้ำ*ที่25 ^{0}C	ดีมาก	ดีมาก	71	22
การทนต่อความร้อน	คงตัว / ระเหย	คงตัว / ระเหยเล็กน้อย	คงตัว	คงตัว
รสชาติ	ขม	หวานเล็กน้อย	เย็น / หวาน	หวาน

* กรัม/100 กรัมน้ำ

ที่มา : ศิวาพร (2529)

ตารางที่ 2.10 แนวทางการเลือกใช้โพลีออลชนิดต่างๆ

วัตถุประสงค์	โพรพีลีนไกลคอล	กลีเซอรีน	ซอร์บิทอล	แมนนิทอล
ป้องกันการตกผลึก		X	X	
ช่วยดูดซับความชื้น	X		X	X
ป้องกันการดูดความชื้น				X
ตัวทำละลาย	X			
ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มี ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม		X		
ช่วยในการคืนตัว		X		
เป็น bulking agent			X	X

ที่มา : ศิวาพร (2535)

การใช้โพลีออลหรือโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ในอาหารนั้น วัตถุประสงค์ใหญ่เพื่อช่วยรักษาคุณภาพของอาหารให้คงเดิม หรือคล้ายของเดิม หรือให้เหมือนธรรมชาติมากที่สุด จนกว่าจะถึงมือของผู้บริโภค นอกจากนี้ก็ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นกว่าเดิมที่เป็นอยู่ซึ่งคุณสมบัติต่างๆที่ต้องการนี้ จะเกิดขึ้นได้ก็โดยผลจากปฏิกิริยาทางฟิสิกส์หรือเคมีของโพลีออล คุณสมบัติต่างๆในอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมโพลีออล ได้แก่

เพิ่มความหนืด หรือ body

ถึงแม้ว่าความหนืดของสารละลายโพลีออลเจือจางจะน้อยกว่าของสารละลายโพลีออลที่มีความเข้มข้นสูงก็ตาม แต่การเติมโพลีออลเพียงเล็กน้อยในอาหารจะทำให้ลิ้นและต่อมรับความรู้สึกต่างๆในปากสามารถรู้สึกได้ถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อบริโภคอาหารนั้น เนื่องจากการเติมโพลีออลลงในอาหารหรือเครื่องดื่มแม้เพียงเล็กน้อย จะเป็นการช่วยเพิ่ม body ให้กับอาหาร ซึ่งความรู้สึกแบบเดียวกันนี้จะได้รับเช่นเดียวกันกับเวลาดื่มเครื่องดื่มหรือบริโภคอาหารที่มีการเติมสารที่ทำให้ข้น (Thickening agent) ถึงแม้ว่ารสชาติของเครื่องดื่มและอาหารที่มีการใส่สารที่ทำให้ข้นนี้จะดีสู้ที่เติมหรือใส่โพลีออลไม่ได้ โพลีออลที่นิยมใช้เป็นสารให้ความหนืดได้แก่ ซอร์บิทอล ซึ่งสารละลายซอร์บิทอลจะให้ความหนืดสูงมาก หรือโพรพีลีนไกลคอล ซึ่งมีความหนืด

น้อยกว่า วิธีที่ดีที่สุดในการใช้โพลีออลช่วยเพิ่มความหนืดของอาหารคือใส่ของผสมของกลีเซอรีน ซอร์บิทอล และน้ำตาลลงไปด้วย

ป้องกันการตกผลึก

ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่ลักษณะเนื้อของอาหารจะต้องขึ้นกับ สารผสมกึ่งสมดุลระหว่างน้ำตาลและน้ำเชื่อม (Semi-equilibrium mixture of Sugar crystals and Sugar syrup) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ซึ่งอาหารประเภทนี้ในระหว่างการเก็บมักจะมีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลงเนื่องจากมีลักษณะเนื้อไม่ดี ได้มีผู้ทดลองเติมน้ำตาลอินเวอร์ทลงไป ทำให้ความหนืด (consistency) ของอาหารดีขึ้น นอกจากนี้ได้มีการทดลองเติมกลีเซอรีนและซอร์บิทอลลงไป พบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยยืดอายุการเก็บและทำให้การเกิดผิวแห้งแข็งลดลง

เพิ่มความกลมกล่อมของรสชาติหรือความหวาน

ปกติรสหวานหรือความหวานที่จะได้จากการใช้โพลีออลนั้นมีน้อยมาก เนื่องจากโพลีออลมิใช่ส่วนประกอบหลักของอาหาร แต่ถ้าหากเป็นอาหารประเภทที่ไม่ใช้น้ำตาล (Sugar free) และมีการใช้โพลีออลเป็นส่วนประกอบหลักนั้น แหล่งของความหวานหรือรสชาติของอาหารนั้นจะได้มาจากโพลีออลที่เติมลงไป เช่น การใช้ซอร์บิทอลและแมนนิทอล ปกติจะใช้โพลีออลเพื่อปรับปรุงรสหวานของผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้เพื่อเป็นสารให้ความหวาน

ความสามารถในการเก็บความชื้น

ความสามารถในการเก็บความชื้นหรืออุ้มความชื้นของโพลีออล จะมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารประเภทผลิตภัณฑ์ขนมหวานมาก เพราะช่วยให้ผลิตภัณฑ์นี้มีลักษณะน่ารับประทานตลอดเวลา นอกจากนี้คุณสมบัติในการที่สารนี้สามารถช่วยป้องกันการตกผลึกได้ยังจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญมากอีกปัจจัยหนึ่ง ที่ทำให้มีการใช้โพลีออลช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมหวาน โดยทั่วไปการใช้โพลีออลในผลิตภัณฑ์ขนมหวานนั้น จะไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ความสามารถในการอุ้มความชื้นนี้จะมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมการผลิต Mashmallow ทั้งนี้เพราะว่าจะทำให้การสูญเสียความชื้นลดลง

ตัวทำละลาย

ความสามารถในการเป็นตัวทำละลายของโพลีออลจะลดลง เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโพลีออลเพิ่มขึ้น โพรพีลีนไกลคอลจัดเป็นโพลีออลที่มีความสามารถในการเป็นตัวทำละลายได้สูงสุดในบรรดาโพลีออลทั้งหลายที่ใช้ในอาหาร โพลีออลที่เป็นตัวทำละลายได้ดีรองจากโพรพีลีน-ไกลคอล คือ กลีเซอรีน แต่ไม่ค่อยนิยมใช้กัน ส่วนซอร์บิทอลและแมนนิทอลนั้น มักนิยมใช้กันมากสำหรับเป็น Flavor carrierrs หรือ Flavor encapsulating agents และเป็นสารช่วยเน้นกลิ่นรสในการทำกาแฟเข้มข้น น้ำผลไม้เข้มข้นและสารที่ใช้ในการหมักเนื้อ

ช่วยในการคืนตัว

การแปรรูปอาหารให้เป็นอาหารแห้ง เป็นกรรมวิธีหนึ่งที่ใช้ในการถนอมอาหารและช่วยลดน้ำหนักอาหารในการขนส่ง ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งบางชนิด ก่อนบริโภคจะต้องมีการทำให้คืนตัวก่อน การที่จะทำให้อาหารแห้งคืนตัวแล้วมีลักษณะคล้ายของสดนั้น จะทำได้ค่อนข้างยากและส่วนใหญ่เมื่อคืนตัวแล้วมักมีส่วนประกอบ คุณค่าทางอาหาร สีและกลิ่นรสผิดไปจากของสดมาก ได้มีผู้ทดลองใช้โพลีออลผสมลงไปด้วยในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนี้ พบว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการคืนตัว มีคุณภาพดีกว่าการไม่ใช้โพลีออล ทั้งนี้เข้าใจว่าเพราะโพลีออลช่วยป้องกันการเกิด Cellular collapse ในระหว่างกรรมวิธีการแปรรูปอาหารแห้งก็เป็นได้ ฉะนั้นจึงทำให้มีการดูดน้ำได้ดีขึ้นในระหว่างกรรมวิธีการทำให้คืนตัว

ช่วยในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

โพลีออลชนิดที่มีคาร์บอน 6 อะตอม จะมีคุณสมบัติเป็น Sequestering agents ได้ ถึงแม้จะดีสู้ EDTA ไม่ได้ ส่วนใหญ่จะมีการใช้ในเครื่องดื่มประเภท ผัก ผลไม้ และไวน์เป็นต้น

ป้องกันการหืนของผลิตภัณฑ์

การหืนของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้เนื่องจากการออกซิเดชันของพันธะคู่ หรือเกิดการหืนแบบ Hydrolytic rancidity โพลีออลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Sequestering agents จะช่วยชะลอการเกิดการหืนได้ นอกจากนี้ยังมีการทดลองพบว่าการใช้กลีเซอรีนจะช่วยชะลอการเกิดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ลดการเกิดการเหม็นหืนลง

ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์

โพลีออลมีคุณสมบัติคล้ายน้ำตาล คือที่ความเข้มข้นสูงๆจะสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ และส่วนใหญ่ต้องมีความเข้มข้นมากถึงร้อยละ 75 จึงจะสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดี แต่ทั้งนี้ยกเว้นโพรพีลีนไกลคอลซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารกันเสีย หรือป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ถึงแม้จะใช้ในปริมาณเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น

ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม

การที่โพลีออลสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มหรือยืดหยุ่นได้นั้น เนื่องมาจากคุณสมบัติที่สามารถอุ้มน้ำหรือเก็บความชื้นได้ดีของโพลีออลนั่นเอง ถึงแม้จะมีความชื้นต่ำ โพลีออลที่เติมลงไปก็ยังสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและหยุ่นได้ดี สำหรับโพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มหรือยืดหยุ่นได้ดีกว่าโพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

Bulking agents

การใช้สารให้ความหวานซึ่งไม่มีคุณค่าทางอาหารแทนน้ำตาลนั้น พบว่าจะทำให้ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์ลดลงหรือจะไปทำให้อัตราส่วนของของแข็งของสารที่ให้ความหวานและส่วนประกอบอื่นๆเปลี่ยนไป เช่น การใช้สารให้ความหวานซึ่งไม่มีคุณค่าทางอาหาร 2-3 มิลลิกรัมแทน น้ำตาล 1 ออนซ์ และปกติการเตรียมเครื่องดื่มเข้มข้นนั้น สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ Bulking agents ทั้งนี้เพราะว่าในเครื่องดื่มเข้มข้น จะมีกรดซึ่งเป็นตัวพากลิ่นรสและความหวานจากสารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร ส่วนอาหารประเภทไอศครีม เค้ก คุกกี้ และ ผลิตภัณฑ์ขนมหวานนั้น พบว่าถ้าหากใช้สารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางอาหารแทนน้ำตาลจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง

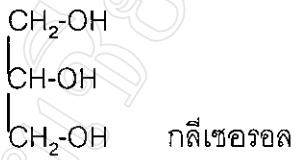
อาหารสำหรับผู้บริโภคซึ่งต้องการจำกัดอาหาร (Dietary foods)

ในการผลิตอาหารสำหรับผู้บริโภคที่จะต้องจำกัดอาหารนั้น พบว่ามักมีการใช้โพลีออลแทนน้ำตาล ฉะนั้นปัจจุบันจึงมีการระบุที่ฉลากว่า Sugar free เมื่ออาหารนั้นใช้ Hexitol แทนน้ำตาล ซึ่งทำให้ผู้บริโภคเข้าใจว่าอาหารเหล่านั้นไม่มีแคลอรีหรือมีน้อย ซึ่งไม่เป็นความจริง เพราะ Hexitol เช่น ซอร์บิทอล มีจำนวนแคลอรีเท่ากับน้ำตาล ส่วน Mannitol และ Dulcitol นั้นจะให้จำนวนแคลอรีน้อยกว่าน้ำตาลเนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้อยกว่า

การที่ตัดสินใจเลือกใช้โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ชนิดใดนั้น ก่อนอื่นควรทราบถึงคุณสมบัติของโพลีออลแต่ละชนิดก่อน ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว (ศิวาพร ,2529)

• **กลีเซอรอล** (Glycerol)

เป็นโพลีออลที่มีความสำคัญมากที่สุด มีสูตรโครงสร้างเป็นดังนี้



กลีเซอรอล

ลักษณะเป็นของเหลวสีขาวใส หนืด มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 92 จุดหลอมเหลว 18.17 องศาเซลเซียส มีจุดเดือดที่ 290 องศาเซลเซียส เมื่อผสมกับน้ำมีจุดเยือกแข็งที่ –46.5 องศาเซลเซียส เป็นสารที่ได้มาจากการหมักน้ำตาล ไม่มีพิษ ไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง มีความหวานร้อยละ 65 ของน้ำตาลซูโครส ละลายในน้ำมันเล็กน้อยแต่สามารถละลายได้ในสารหลายๆชนิด ให้พลังงาน 4.32 แคลลอรี่ต่อกรัม FDA จัดให้เป็นสารเจือปนในอาหาร (Generally Recognized as Safe ,GRAS) มีค่าความถ่วงจำเพาะร้อยละ 96

ในผลิตภัณฑ์อาหาร มีการใช้กลีเซอรอลเป็นตัวทำละลาย Humectant และ Plasticizer ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดกลีเซอรอลช่วยในการยับยั้งการเกิดผลึกน้ำตาล ทำให้ลูกกวาดที่ได้มีเนื้อสัมผัสนุ่มเนียนและเป็นครีมหรือในบางครั้งอาจใช้ซอร์บิทอลแทนกลีเซอรอล หรือโพรพีลีนไกลคอลร้อยละ 4 โดยน้ำหนักทำหน้าที่เป็น Humectant และ Softener ในเนื้อมะพร้าวที่หั่นเป็นชิ้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและชุ่มชื้น ในบางครั้งยังมีการใช้กลีเซอรอลเป็นสารหล่อลื่นเครื่องจักรในโรงงานเนื่องจากกลีเซอรอลมีจุดเยือกแข็งค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้กลีเซอรอลไม่ระเหยที่อุณหภูมิห้องจึงทำให้ไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการระเหย (Johnson and Peterson, 1974)

• โซเดียมคลอไรด์

ปกติมีการใช้เกลือในอาหารโดยเติมลงไปโดยตรงหรือเติมลงไปในรูปของน้ำเกลือ เพื่อประโยชน์ทางด้านรสชาติและ/หรือใช้เพื่อการถนอมอาหาร การเติมเกลือเข้มข้นลงไปในอาหารช่วยยืดอายุการเก็บอาหารได้ เนื่องจากเกลือจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งทำให้อาหารเสื่อมเสียช้าลง หน้าที่ของเกลือ ได้แก่

1. ลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (Water activity , Aw)
2. เพิ่มแรงดันออสโมติกแก่สิ่งแวดล้อมของเซลจุลินทรีย์ทำให้เซลเกิดพลาสโมไลซิส
3. ลดความสามารถการละลายของออกซิเจนในน้ำ
4. ทำให้เซลจุลินทรีย์ไวต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์
5. มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ Proteolytic (Johnson and Peterson, 1974)

• น้ำตาล

มีน้ำตาลหลายชนิดที่ใช้เพื่อให้ความหวานในอาหาร ได้แก่ กลูโคส ซูโครส และแลคโตส ถ้าน้ำตาลหล่านี้มีความเข้มข้นมากพอจะมีคุณสมบัติเป็นสารกันเสีย ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารได้ เช่น แยม เจลลี ซีรัพ และลูกกวาด เนื่องจากน้ำตาลจะไปลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารซึ่งทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้น้ำตาลยังทำให้แรงดันออสโมติกสูงทำให้เซลเกิดพลาสโมไลซิสเชื้อจุลินทรีย์หรือสปอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารที่มีปริมาณน้ำน้อยหรือไม่มีเลย เชื้อบางชนิดเจริญได้ที่แรงดันออสโมติกสูงๆ (Osmophilic) เช่น แบคทีเรีย *Aspergillus glaucus, Saccharomyces roaxii* และยีสต์ในสกุล *Torulopsis* สำหรับยีสต์ *Zygosaccharomyces* ไม่เพียงแต่ทนต่อปริมาณน้ำตาลสูงๆเท่านั้น ยังสามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลสูงด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออาหารเกิดการดูดความชื้นที่ผิว ซึ่งทำให้ที่ผิวของอาหารมีความเข้มข้นของน้ำตาลลดลงเหลือน้อยกว่าในตัวอาหาร

น้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลที่ใช้ประจำบ้านและในอุตสาหกรรม โดยใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณ ลักษณะเป็นผลึกสีขาว มีรสหวาน หลอมตัวที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการละลายในแอลกอฮอล์ได้น้อย สามารถละลายในน้ำได้ 204 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง สารละลายน้ำตาลซูโครสอิ่มตัวจะมีน้ำตาลซูโครส 67.1 กรัมต่อสารละลาย 100 กรัมที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่ 100 องศาเซลเซียส น้ำตาลซูโครสสามารถละลายได้ในน้ำ 100 กรัม เป็น

จำนวน 487 กรัม น้ำตาลซูโครสเองไม่สามารถป้องกันจุลินทรีย์ได้ โดยเฉพาะถ้ามีปริมาณน้อยๆ จะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาการต่อต้านจุลินทรีย์ของน้ำตาลซูโครสเกิดจาก น้ำตาลซูโครสไปลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในระบบ การถนอมอาหารอาจทำได้โดยการแช่ในสารละลายน้ำตาลหรือเติมน้ำตาลลงไปในอาหารโดยตรงก็ได้ ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ ดังตารางที่ 2.11 (ไพบูลย์ ,2529)

ตารางที่ 2.11 ค่า Aw ของสารละลายน้ำตาลซูโครส

ปริมาณน้ำตาลในสารละลาย (กรัมต่อน้ำ 100 กรัม)	ค่า Aw
11	0.99
25	0.96
78	0.95
93	0.94
107	0.93
120	0.92
144	0.90
169	0.88
194	0.86
208	0.85
220	0.84
243	0.82

ที่มา : ไพบูลย์ (2529)

• แคลเซียมคลอไรด์

ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารประเภทผักและผลไม้นั้น มักพบว่าหลังการแปรรูปแล้วลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปในลักษณะที่ด้อยลง เช่น นิ่มเละ หรือแตก จึงได้มีการใช้สารเพื่อให้เนื้อสัมผัสคงตัวหรือคงรูปดีขึ้น ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ พบว่าเกลือแคลเซียมจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความคงตัวของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ โดยไปทำปฏิกิริยากับ Pectic substances ในผักและผลไม้ ทำให้โครงสร้างเซลของผักและผลไม้แข็งแรงขึ้น การเปลี่ยนแปลง

ของลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ในระหว่างที่แปรรูปจึงลดลง เช่นการใช้กับการแปรรูปแอพริคอตกระป๋อง พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น เช่นเดียวกับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วนในผลิตภัณฑ์พลัมกระป๋องในน้ำเชื่อม พบว่า ความคงตัวของลักษณะเนื้อสัมผัสของพลัมดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากแคลเซียมคลอไรด์แล้วมีสารช่วยให้คงรูปอีกหลายชนิด เช่น โมโนแคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมกลูโคเนต แคลเซียม-คาร์บอเนต แคลเซียมซิเตรท แคลเซียมไบซัลเฟตโมโนเบสิก แคลเซียมแล็กเทต โพแทสเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และสารส้มหรือแคลเซียมคลอไรด์ การแช่แอปเปิ้ลในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าแอปเปิ้ลมีความคงตัวสูงขึ้นและเมื่อนำตัวอย่างแอปเปิ้ลดังกล่าวมาวิเคราะห์ พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นจาก 40.8-53.5 ส่วนในล้านส่วน ก่อนแช่ไปเป็น 100-120.7 ส่วนในล้านส่วน แคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้นี้นอกจากจะมีปฏิกิริยากับ Pectic substance ในผักและผลไม้แล้ว จากการทดลองยังพบว่าจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาของ Pectinolytic enzyme เช่น Pectinesterase และ Polygalacturonase เป็นต้น และจากการทดลองการลดปฏิกิริยาของเอนไซม์ Polygalacturonase ในผักกาดดองพบว่าประสิทธิภาพของเอนไซม์ในผักกาดดองที่มีการใช้เกลือแคลเซียมคลอไรด์ มีน้อยกว่าผักกาดดองที่ไม่ได้เติมแคลเซี่ยมคลอไรด์ (ศิวาพร ,2529)