บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

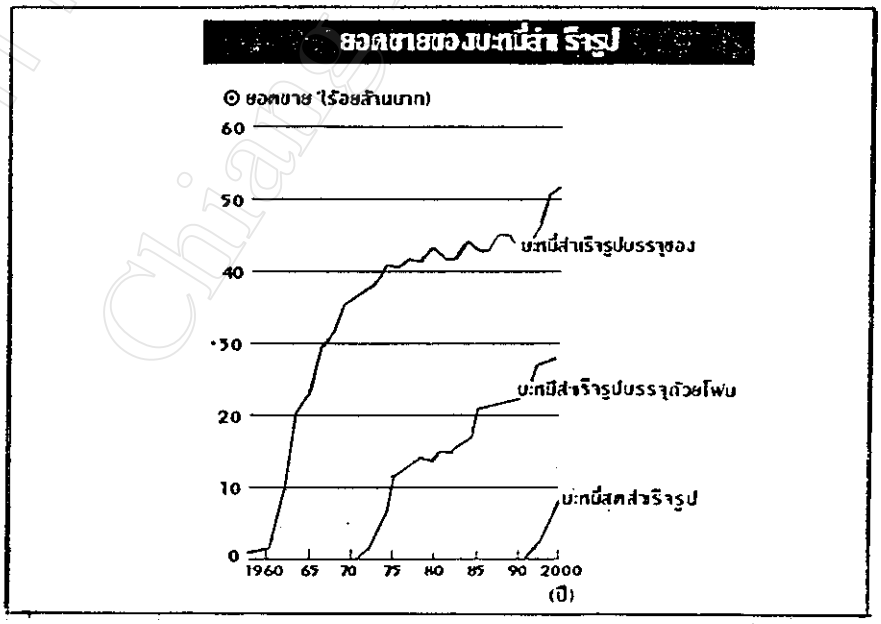
อาหารกึ่งสำเร็จรูป (Instant Food)

อาหารกึ่งสำเร็จรูปหมายถึง อาหารที่ผ่านการปรุงให้สุกหรือทำให้สุกบางส่วนแล้วนำมาทำให้แห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเตรียมบริโภคได้รวดเร็ว เพียงการเติมน้ำร้อนหรือให้ความร้อน (Arnold, 1975) ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวกำลังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น

ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. กลุ่มผลิตภัณฑ์บะหมี่และก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูป
2. ข้าวต้มและโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป
3. เครื่องดื่มกึ่งสำเร็จรูปเช่น กาแฟผงและชาผง
4. ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมกึ่งสำเร็จรูป เช่นอาหารเด็ก อาหารเสริมผสมวิตามิน

ความต้องการรวมของอาหารกึ่งสำเร็จรูปมีมากขึ้นทุกปีและมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีการพัฒนาปรับปรุงรูปแบบใหม่ๆขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งการขยายตัวของธุรกิจเหล่านี้ทำให้มูลค่ารวมของสินค้ามีสูงขึ้นเป็นการเพิ่มรายได้ของประเทศได้อย่างมาก



ภาพที่ 2.1 ยอดขายของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปของบริษัท Rao Nisshin ในช่วงปี ค.ศ 1960-2000

จากกราฟในภาพที่ 2.1 พบว่ายอดขายของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี และได้มีการพัฒนาให้มีรูปแบบใหม่ๆอยู่เสมอ เพื่อเป็นการขยายตลาดของอาหารกึ่งสำเร็จรูปให้มีมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกลุ่มผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปยังมีจุดด้อยคือ มีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างต่ำ เมื่อบริโภคเป็นประจำอาจทำให้ขาดสารอาหารได้ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปจึงมีแนวโน้มที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มมากขึ้น เช่น มีการเติมเนื้อสัตว์ ผัก และ ไข่ ในรูปแบบต่างๆลงไปในผลิตภัณฑ์ ดังเช่นในงานวิจัยนี้ได้มีการนำเอาไข่มาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารและเพิ่มมูลค่าของสินค้าให้สูงขึ้นด้วย

ไข่ (Egg)

ไข่เป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญและมีราคาถูกกว่าโปรตีนชนิดอื่นๆ และไข่ยังเป็นสินค้าเกษตรกรรมที่มีปริมาณมาก การนำไข่มาแปรรูปในอุตสาหกรรมมีหลายรูปแบบ เช่น การแช่แข็ง การทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตไข่ผง เป็นต้น ไข่ยังมีคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น ในผลิตภัณฑ์ขนมอบไข่จะเป็นตัวช่วยให้เกิดการขึ้นฟูอยู่ตัว อ่อนนุ่ม และรสชาติดีขึ้น ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเลซิตินในไข่แดงจะช่วยทำให้น้ำกับน้ำมันผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (emulsion) ได้ และนอกจากนี้ไข่ยังเป็นอาหารที่เป็นสากลซึ่งแทบทุกประเทศจะมีสูตรอาหารที่ทำจากไข่

ตารางที่2.1 องค์ประกอบต่างๆของไข่ไก่

องค์ประกอบ	ไข่ทั้งฟอง	ไข่แดง	ไข่ขาว
น้ำ(ร้อยละ)	73.6	48.7	87.9
โปรตีน(ร้อยละ)	12.3	16.6	10.6
ลิปิด ไขมัน(ร้อยละ)	11.8	32.6	-
คาร์โบไฮเดรท(ร้อยละ)	1.0	1.0	0.9
อนินทรีย์สาร(ร้อยละ)	0.8	1.1	0.6

โปรตีนในไข่

ไข่คือแหล่งของโปรตีน โปรตีนมีอยู่ในไข่ขาวประมาณร้อยละ 50 ในไข่แดงประมาณร้อยละ 44 โปรตีนในไข่นับได้ว่าเป็นโปรตีนที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วนและในปริมาณที่เหมาะสม

โปรตีนในไข่แดง ไข่แดงประกอบด้วยโปรตีนที่สำคัญ 2 ชนิดคือ

โอโวไวเทลลิน (Ovovitellin) และโอโวไลเวลทิน (Ovoliveltin) ในโอโวไวเทลลินมีฟอสเฟตต่ำแต่มีกำมะถันมากถึง 1/3 ของฟอสฟอรัสในไข่แดง สัดส่วนของโอโวไวเทลลินต่อโอโวไลเวลทินในไข่แดงมีค่าเป็น 4:1 โปรตีนในไข่แดงจะอยู่ปะปนกับสารประกอบอื่นๆ อย่างสลับซับซ้อนเช่น น้ำตาล ฟอสเฟตต่างๆ

โปรตีนในไข่ขาว แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 2 กลุ่มคือ

1.Simple protein เป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในไข่ขาวและอยู่อย่างอิสระ ประกอบด้วยโปรตีน 3 ชนิดในสัดส่วนที่แตกต่างกันคือ

ก. Ovalbumin มีปริมาณร้อยละ 75ซึ่งเป็นโปรตีนหลักในไข่ขาว

ข. Ovoconalbumin มีปริมาณร้อยละ 3

ค. Ovoglobulin มีปริมาณร้อยละ 2

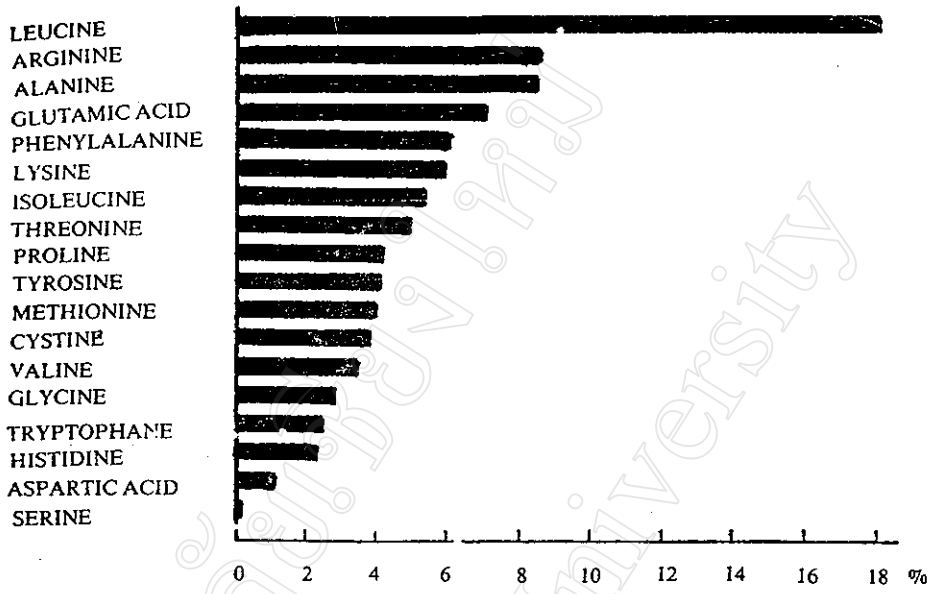
2.Glycoprotein เป็นโปรตีนที่อยู่รวมกับสารประกอบคาร์โบไฮเดรท ประกอบด้วยโปรตีนที่สำคัญ 2 ชนิดคือ

ก. Ovolmucoid มีปริมาณร้อยละ 13

ข. Ovolmucin มีปริมาณร้อยละ 7

นอกจากนี้อาจมีโปรตีนกลุ่มอื่นเป็นองค์ประกอบอยู่เล็กน้อยเช่นไลโซไซม์ (Lysosyme) เป็นตัวช่วยรักษาคุณภาพไข่จากการทำลายของแบคทีเรียที่รุกล้ำเข้าไปในไข่ และ Avidin ซึ่งสามารถรวมตัวกับ Biotin ทำให้วิตามินชนิดนี้ไม่ละลาย จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่สามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน

โปรตีนในไข่จะประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างครบถ้วน โดยที่ Ovovitellin มีองค์ประกอบพวกกรดกลูตามิก ลูซีน อาจินินและไลซินมาก และ Ovalbumin มีองค์ประกอบพวกกรดกลูตามิก ลูซิน อะลานินและแอสพาติกมาก ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในไข่ไก่ 1 ฟอง แสดงได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กรดอะมิโนต่างๆเทียบเป็นร้อยละของกรดอะมิโนทั้งหมดในไข่ไก่

ลิปิดในไข่ **(Lipids of egg)** ประกอบด้วย

ลิปิดในไข่จะปรากฏในรูปสารประกอบที่มี ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และ น้ำตาลที่รวมตัวอยู่กับไขมัน ในไข่ขาวมีไขมันราวร้อยละ 6.2 ในไข่แดงมีร้อยละ 91 ที่เหลือจะอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์และเปลือกไข่

ไขมัน (True fats) เป็นกรดไขมันพวกอิ่มตัวเช่น กรดสเตียริค กรดพัลมิติก และกรดไมริสติกมีประมาณร้อยละ34 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่นโอลิอิก ลิโนลีอิกและกรดไขมันอื่นๆ อีกประมาณร้อยละ 66

ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) อยู่ในรูปสารประกอบฟอสฟอรัส ไนโตรเจนและ กรดไขมันต่างๆ เช่น เลซิติน (Lecitin) ในไข่แดงมีเลซิตินร้อยละ 8.6 มีมากรองจากสมองและระบบประสาท

สเตียรอล (Sterols) เช่น คอเรสเตอรอลมีอยู่ในไข่แดง 0.3 กรัม (ร้อยละ 1.6) ในไข่เป็ดมีประมาณร้อยละ 8.4

ซีรีโบไซด์ (Cerebrosides) มีอยู่ปริมาณเล็กน้อย

คาร์โบไฮเดรท

ในไข่มีคาร์โบไฮเดรทน้อยมาก มีทั้งในรูปอิสระเช่น กลูโคส (Glucose) กาแลคโตส (Galactose) และในรูปที่รวมกับไขมันเช่น ฟอสโฟลิปิด รวมกับโปรตีนของไข่แดงในรูป Mannose glucosamine

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีของไข่

คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีของไข่	ไข่ขาว (Albumin)	ไข่แดง (Yolk)
Bound water(%)	25	15
Coagulating temperature($^{\circ}$C)	61	65
Density(GM/CM^{3})	1.035	1.035
Freezing point($^{\circ}$C)	-0.424	-0.587
Heat of combustion(cal/GM)	5690	8124
Hydrogen-ion concentration(pH)	7.6	6.0
Specific heat(cal/GM)	0.85	-
Specific resistance(ohm-cm)	120	320
Surface tension(DYNES/CM)	53	35
Vapour pressure(in % of NaCl)	0.756	0.971
Viscosity (poinses at 0°C)	25	200

คุณค่าทางอาหารของไข่(Food value)

ไข่มีโภชนะสำคัญๆจัดอยู่ในประเภทอาหารคุณภาพสูง ใช้สำหรับเสริมการเจริญเติบโตในเด็ก ช่วยบำบัดร่างกายผู้ฟื้นไข้ให้กลับคืนสู่สภาพเดิม ช่วยไม่ให้ขาดอาหาร วิตามิน และ เกิดโรคโลหิตจางแบบต่างๆ มีบางโรคเท่านั้นห้ามรับประทานไข่

กรดอะมิโนจากโปรตีนของไข่นั้นดีเลิศ เพราะมีกรดอะมิโนที่สำคัญๆครบทุกอย่าง กรดอะมิโนเหล่านี้มีในไข่มากกว่านม เนื้อและโปรตีนจากพืชบางอย่าง ลำพังโปรตีนสองอย่างในไข่คือ โอโวไวเทลลิน (Ovovitellin) ของไข่แดงและโอโวอัลบูมิน (Ovalbumin) ของไข่ขาว ก็สามารถให้จำนวนกรดอะมิโนที่สำคัญแก่ร่างกายช่วยให้การเจริญเติบโตได้อย่างดี เพราะโปรตีนสองอย่างนี้ช่วยเสริมซึ่งกันและกันให้อีกฝ่ายหนึ่งมีกรดอะมิโนบริบูรณ์ขึ้น

ตารางที่ 2.3 ชนิดและปริมาณโภชนะที่สำคัญจากไข่ 2ฟอง

ชนิดของโภชนะที่สำคัญ	ปริมาณ	
Protein	12.2	กรัม
กรดอะมิโนที่จำเป็น		
Arginine	0.82	กรัม
Histidine	0.33	กรัม
Isoleucine	0.86	กรัม
Leucine	1.03	กรัม
Lysine	0.84	กรัม
Methionine	0.41	กรัม
Phenylalanine	0.66	กรัม
Treonine	0.68	กรัม
Tryptophan	0.245	กรัม
Valine	1.00	กรัม
ไขมันกับสิปิด	11.00	กรัม
Unsaturated:	7.2	กรัม
Linoleic Acid	2.4	กรัม
Linolenic Acid	0.32	กรัม
Arachidonic Acid	0.26	กรัม
Calories	154	แคลอรี่
Total carbohydrate	0.6	กรัม
เกลือแร่ต่างๆ:		
Calcium	52	มิลลิกรัม
Phosphorus	202	มิลลิกรัม
Sodium	132	มิลลิกรัม
Chlorine	149	มิลลิกรัม
Potassium	152	มิลลิกรัม
Sulfur	134	มิลลิกรัม
Magnesium	54	มิลลิกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ชนิดของโภชนะที่สำคัญ	ปริมาณ	
เกลือแร่ต่างๆ:		
Iodine	5-9	ไมโครกรัม
Manganese	4-18	ไมโครกรัม
Zinc	1	มิลลิกรัม
Copper	0.3	มิลลิกรัม
ไวตามินต่างๆ:		
Vitamin A	1100	I.U
Vitamin B	100	I.U
Vitamin E	2	I.U
Vitamin K	น้อยมาก	
ไวตามินบีต่างๆ:		
Thiamine(Vitamin B_1)	0.1	มิลลิกรัม
Riboflavin(VitaminB_2)	0.28	มิลลิกรัม
Pantothenic acid	1.6	มิลลิกรัม
Choline	582	มิลลิกรัม
Niacin	0.1	มิลลิกรัม
Vitamin B_6(Pyridoxine)	120	ไมโครกรัม
Folic Acid	6	ไมโครกรัม
Biotin	10	ไมโครกรัม
Vitamin B_{12}	1	ไมโครกรัม
Inositol	22	มิลลิกรัม
น้ำ	74	กรัม

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณกรดอะมิโนที่สำคัญๆใกล้เคียงกับความต้องการประจำวันของมนุษย์ ปริมาณเมทไธโอนีนกับซิสตีนและทริฟโตเฟนเพียงในไข่ 1ฟองก็มากกว่าที่คนต้องการใน 1 วัน ส่วนอาจินีนนั้นอาจมีไม่พอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Copyright© by Chiang Mai University

คุณค่าทางโภชนาการจากเกลือแร่ต่างๆของไข่

ส่วนที่สำคัญของไข่ในด้านที่มีคุณค่าทางอาหารได้แก่โปรตีนและไขมัน นอกจากนี้ได้แก่เกลือแร่ต่างๆที่จำเป็นต่อร่างกาย พวกเกลือแร่ที่ไม่ค่อยมีในอาหารชนิดอื่นเช่น ฟอสฟอรัสกับเหล็กนั้นปรากฏว่ามีอยู่ในไข่ปริมาณพอดีกับความต้องการของร่างกาย และยังมีเกลือแร่ที่ร่างกายต้องการอีกอาทิ กำมะถัน แมกนีเซียม โปแตสเซียม โซเดียมและคลอรีน

เกลือแร่ในไข่สามารถแบ่งออกได้เป็นสองพวกใหญ่ๆคือ

พวกที่มีอยู่มากได้แก่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม โปแตสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม กำมะถัน คลอรีนและเหล็ก

พวกที่มีอยู่น้อยได้แก่ สังกะสี ทองแดง แมงกานีสและไอโอดีน

พวกแร่ธาตุที่มีอยู่จำนวนมาก

ฟอสฟอรัส มีมากในไข่แดงปริมาณถึงร้อยละ 99 อาหารที่มีฟอสฟอรัสสูงได้แก่ ไข่และนมเป็นฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของอินทรีย์สารที่ละลายง่าย ฟอสฟอรัสจะถูกย่อยและนำไปใช้ได้ดีก็ต่อเมื่อมีวิตามินดีอยู่ด้วย เด็กอ่อนต้องการฟอสฟอรัสวันละ 45-50 มิลลิกรัม/น้ำหนัก 1 กิโลกรัม เด็กโตควรได้รับฟอสเฟตจากอาหาร 34 มิลลิกรัม/น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ผู้ใหญ่ต้องการ 12-13 กรัม/น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ดังนั้นเด็กอ่อนรับประทานไข่วันละครึ่งฟองสามารถได้รับฟอสฟอรัสเพียงพอและเสริมได้จากนม

แคลเซียม มีมากในไข่แต่อยู่ในส่วนของเปลือกถึงร้อยละ 99

แมกนีเซียม มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ไข่มีแมกนีเซียมเฉลี่ยฟองละ 28 มิลลิกรัม ประมาณร้อยละ 90 อยู่ในไข่แดง ร่างกายผู้ใหญ่ต้องการแมกนีเซียมวันละ 0.7 กรัม ได้จากอาหารธรรมดาเพียง 0.34 กรัม/วัน

กำมะถัน มีอยู่ในไข่เฉลี่ยฟองละ 67 กรัม กำมะถันเป็นองค์ประกอบของเซลล์ต่างๆในร่างกายสำคัญต่อการเจริญเติบโตและดำรงชีวิต ร่างกายผู้ใหญ่ต้องการวันละ 1.5 กรัม กำมะถันในไข่จะอยู่รวมกับอินทรีย์สารต่างๆในรูปของกรดอะมิโนพวกซิสตีนและเมทไธโอนีน

เหล็ก มีอยู่ในไข่แดงเฉลี่ยฟองละ 2 มิลลิกรัม จะอยู่รวมกับโอโวไวเทลลิน ถ้าอาหารมีธาตุทองแดงอยู่มากพอจะช่วยให้เหล็กถูกใช้ประโยชน์ในการสร้างฮีโมโกลบินไปสะสมไว้ในตับอ่อนและม้าม การให้เด็กรับประทานไข่วันละ 1 ฟองแม้จะเพียงเพิ่มธาตุเหล็กขึ้นมาอีกร้อยละ 10 ก็สามารถช่วยบำรุงสภาพของฮีโมโกลบินได้มาก ไข่จึงใช้ได้ดีกับผู้ป่วยโรคโลหิตจางที่เนื่องจากการขาดสารอาหารต่างๆ

โปแตสเซียม คลอรีนและโซเดียม มีอยู่ในไข่ประมาณฟองละ 82 มิลลิกรัม 76และ 66 มิลลิกรัม ตามลำดับ แร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อร่างกาย แร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่มากพอในอาหารทั่วไป

พวกแร่ธาตุที่มีน้อยและหาได้ยาก

สังกะสี ไข่หนึ่งฟองจะมีสังกะสี 0.1 มิลลิกรัม ส่วนใหญ่อยู่ในไข่แดงช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโตเป็นปกติ เป็นส่วนประกอบของ Insulin และน้ำย่อย จำนวนที่ต้องการต่อวัน 0.3 มิลลิกรัม

ทองแดง ธาตุนี้ในอาหารของสัตว์หรือมนุษย์จะขาดเสียมิได้เพราะมีหน้าที่สำคัญรวมกับเหล็ก ในการสร้างฮีโมโกลบินให้แก่เม็ดโลหิต ปริมาณทองแดงในไข่ 1 ฟองประมาณ 0.3 มิลลิกรัมใกล้เคียงกับความต้องการของเด็กอ่อนซึ่งต้องการวันละ 0.1 มิลลิกรัม

แมงกานีส มีมากในพืชสีเขียวและธัญพืช ในไข่มีเพียงฟองละไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัม ร่างกายมนุษย์ต้องการวันละ 0.2-0.3 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกาย 1 กิโลกรัม

ไอโอดีน มีอยู่น้อยมากในไข่ โดยมีประมาณ 0.001-0.01 มิลลิกรัม ส่วนใหญ่อยู่ในไข่แดง ไข่ไก่จะมีไอโอดีนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุในอาหารที่ให้ไก่กิน ร่างกายมนุษย์ต้องการแร่ธาตุนี้วันละ 1 มิลลิกรัม ปริมาณนี้อาจได้จากไข่ไก่ 1 ฟอง จากไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีไอโอดีนสูง

วิตามินต่างๆในไข่ แบ่งเป็นสองกลุ่มคือ พวกที่ละลายในน้ำมัน กับพวกที่ละลายในน้ำ

พวกที่ละลายในไขมัน มีเฉพาะในไข่แดง ได้แก่ วิตามิน เอ ดี อีและเค วิตามินเหล่านี้อยู่ในสภาพไม่รวมตัว (Unsaponifiable) กับไขมันของไข่แดง

วิตามินเอ เป็นผลิตผลจากเมตาบอลิซึมของร่างกายสัตว์ สร้างและเก็บไว้ที่ตับ อาการขาดวิตามินเอจะทำให้มองเห็นได้ไม่ชัดในตอนกลางคืนและมีการเปลี่ยนแปลงเยื่อบุผิว ผิวแห้งและหยาบกระด้าง ไข่ผงที่ผลิตโดยวิธีพ่นแห้งแบบธรรมดา Spray drying วิตามินเอจะสูญเสียน้อยหรือไม่สูญเสียเลย แต่ไข่ผงที่ทำโดยระเหยในเตาอบจะสูญเสียวิตามินเอมาก เนื่องจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน ปริมาณวิตามินเอในไข่ มีประมาณ 200-1,000 หน่วยสากล (I.U) ในธรรมชาตินอกจากนมและเนยแล้วไข่เป็นอาหารที่มีวิตามินเอสูง

วิตามินดี มีน้อยในธรรมชาติ และมีหน้าที่ใช้ในการเมตาลิโบซึมของแคลเซียม กับ ฟอสฟอรัส การหุงต้มหรือเก็บไว้นานๆ เช่นต้มไข่ 20 นาที มีผลต่อคุณภาพของวิตามินดี โดยจะทำให้ปริมาณวิตามินดีในไข่จะลดลงเล็กน้อย ส่วนการเก็บรักษาในห้องเย็น 8-10 เดือน ไม่ทำให้วิตามินดีลดลงจากเดิม วิตามินดีจำเป็นมากสำหรับสตรีระยะมีครรภ์และระยะมีน้ำนม เด็กอ่อนต้องการวิตามินดีวันละประมาณ 600-800 หน่วยสากล เด็กกำลังเติบโตต้องการ 350 หน่วยสากล สำหรับสร้างความเจริญของกระดูกและฟันให้แข็งแรงเป็นปกติ ผู้ใหญ่ต้องการ 360-400 หน่วยสากล

วิตามินอี มีประโยชน์ต่อความเป็นปกติของการสืบพันธุ์ วิตามินนี้รวมอยู่กับส่วนที่ไม่ใช่เลซิตินของไข่แดง

วิตามินเค ช่วยสร้างโปรทรอมบิน (Prothrombin) ช่วยในการทำให้โลหิตแข็งตัวได้ง่าย มนุษย์ต้องการวิตามินนี้วันละ 1-2 มิลลิกรัม

วิตามินที่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่เป็นพวกวิตามินบีรวมและวิตามินซี ซึ่งในไข่มีวิตามินซีน้อยมาก

ไทอามีน หรือ วิตามินบีหนึ่ง มีในไข่แดง ในไข่เป็ดมีวิตามินนี้มากกว่าในไข่ไก่ ถ้าขาดวิตามินนี้อาจเกิดอาการทางประสาท วิตามินนี้เป็นส่วนสำคัญของ Cocarboxylase enzyme ซึ่งมีหน้าที่ทางเมตาบอลิซึมของอาหารคาร์โบไฮเดรท ป้องกันการสะสมของกรดไพรูวิกในกล้ามเนื้อ ไทอามีนในไข่แดงมีอยู่ประมาณ 3.5-4.8 ไมโครกรัม / กรัม หรือไข่ 1 ฟองให้วิตามินนี้แก่ผู้ใหญ่ได้ร้อยละ 5 ของที่ต้องการต่อวัน ไทอามีนทนทานต่อความร้อนและการเก็บนานวันแต่ไม่ทนต่อกรด

ไรโบเฟลวิน หรือ วิตามินบีสอง อยู่รวมกับเอนไซม์ต่างๆในรูปของไรโบเฟลวินฟอสเฟต หรือเป็นส่วนของพวกเฟลโวโปรตีน (Flavoprotein complex) วิตามินนี้มีประโยชน์ต่อกลุ่มเซลล์ในเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่ในการหายใจ (Tissue respiration) มีในไข่แดงมากกว่าในไข่ขาว คุณภาพของไรโบเฟลวินทนต่อความร้อนธรรมดา ต่อการทำให้แห้ง แต่ไม่ทนต่อแสงสว่าง ไข่ 1 ฟองให้ไรโบเฟลวินถึงร้อยละ 7 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการต่อวัน

ไนอาซีน หรือ วิตามินบีห้า เป็นส่วนของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยน้ำตาลในที่ที่ไม่มีออกซิเจน (Glycolysis) และการหายใจ คนที่ขาด ผิวหนังจะเป็นจ้ำๆสีม่วง (Pellagra) ไข่ 1 ฟองให้ไนอาซีนร้อยละ 2 ของที่ร่างกายต้องการต่อวัน ไนอาซีนทนต่อการหุงต้มธรรมดา และ การทำแห้งหรือการเก็บเป็นระยะเวลานาน

กรดแพนโตธีนิค พบในไข่ขาว 0.76-2.7 ไมโครกรัมไข่ขาว และในไข่แดง 46.8-65 ไมโครกรัมต่อกรัมไข่แดง ไข่ทั้งฟองมี 11-14 ไมโครกรัมต่อกรัม กรดแพนโตธีนิคทนทานต่อความร้อนในการหุงต้ม การเก็บนานหรือต่อการพ่นทำแห้งแต่ไม่ทนต่อความชื้น ช่วยควบคุมระบบประสาทของร่างกาย

โคลีน มีอยู่ในเลซิตินของไข่แดงราวร้อยละ 8.6 หรือ 17.13 ไมโครกรัม/กรัมของไข่แดง อาการที่ขาด คือ ตับมีไขมันมากผิดปกติ

การแปรรูปอาหารกึ่งสำเร็จรูป เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำแห้งอาหาร (Drying) ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่ต้องการ อาหารกึ่งสำเร็จรูปจะมีน้ำหนักเบา สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา

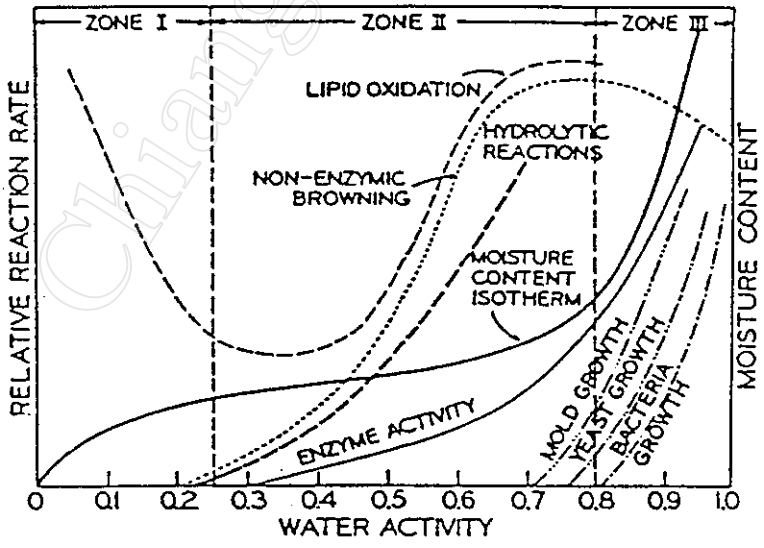
กระบวนการทำแห้ง (Drying , Dehydration)

ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปจะต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง เพื่อดึงเอาน้ำในผลิตภัณฑ์ออกให้อยู่ในระดับต่ำ จึงส่งผลให้โอกาสที่จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดความเสื่อมเสียเกิดได้ยาก สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น นอกจากนี้การทำแห้งทำให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ลดลง ขนส่งสะดวก เก็บรักษาง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้ การอบแห้งทั่วๆไปมักใช้ความร้อนสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Karel, 1975)

น้ำในอาหาร (Water in food)

น้ำในอาหารเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของอาหารเกือบทุกชนิด มีปริมาณร้อยละ 65-95 ของน้ำหนักรวมของอาหาร อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจะเสื่อมเสียได้รวดเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและเคมี น้ำในอาหารจะเป็นตัวทำละลายองค์ประกอบต่างๆของอาหารและมีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติของอาหาร เช่นโครงสร้างหรือความเต่งตึง คุณค่าทางโภชนาการและรสชาติ ซึ่งการอบแห้งอาจจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเหล่านี้

การทำแห้งผลิตภัณฑ์มีหลายวิธีขึ้นกับชนิดและรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แต่หลักการคือเป็นการลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลง ทำให้ไม่เสี่ยงต่อการถูกทำลายจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆในอาหารกับค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Water activity)

จากภาพที่ 2.3 อธิบายได้ว่าถ้าปริมาณน้ำในอาหารลดลง ปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆเช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) หรือ ปฏิกิริยาต่างๆ ของเอนไซม์ (Enzymatic activity) เกิดได้ยากเนื่องจากน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายสารประกอบต่างๆ ในอาหารมีปริมาณน้อยลง การเคลื่อนที่ของสารต่างๆเพื่อทำปฏิกิริยาเกิดได้น้อย และความเข้มข้น ของสารละลายที่เหลืออยู่จะสูง ทำให้ปฏิกิริยาต่างๆเกิดได้ยาก นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ต่ำ ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Water activity, Aw) ต่ำทำให้จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และราไม่สามารถนำไปใช้ได้ ดังนั้นการลดปริมาณน้ำในอาหารจะเป็นการช่วย ถนอมอาหารให้คงสภาพดีและสามารถเก็บได้นานขึ้น

ปัญหาการอบแห้งในอาหาร ได้แก่

1. อาหารส่วนใหญ่มีความไวต่อความร้อนในระดับหนึ่งและสามารถพัฒนาให้เกิดกลิ่นรสไหม้ ได้ ถ้าควบคุมสภาวะไม่เหมาะสม
2. เกิดการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้และส่งผลให้สีของอาหารจางลง
3. เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างซึ่งรวมถึงเกิดการแห้งกรอบอันเนื่องมาจากการหดตัว
4. เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เกิดจากเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นและ นอกจากนี้อาจเกิดจากออกซิเดชันของไขมันได้
5. ถ้าหากว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นช้าหรือปริมาณความชื้นสุดท้ายมีค่าสูงหรือเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง จะทำให้เกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์ได้

วิธีการทำแห้งในผลิตภัณฑ์ การทำแห้งในผลิตภัณฑ์มีหลายวิธี ขึ้นกับชนิดและรูปแบบของ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การทำแห้งโดยใช้ความร้อน อาหารจะถูกวางไว้ให้สัมผัสกับลมร้อน ความร้อนจะส่งผ่านให้แก่ ผลิตภัณฑ์โดยการพา (Convection)
2. การทำแห้งโดยให้อาหารสัมผัสกับพื้นผิวที่ร้อน อาหารจะถูกวางบนพื้นผิวที่นำความร้อน ความร้อนจะส่งผ่านให้แก่ผลิตภัณฑ์โดยการนำ (Conduction)
3. การทำแห้งโดยใช้พลังงานจากการแผ่รังสี ไมโครเวฟ หรือ Dielectric source

วิธีการทำแห้งผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องอบแห้งแบบต่างๆ และเนื่องจากการอบแห้งเป็นกระบวนการระหว่างการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล ฉะนั้นแบบของเครื่องอบแห้งจึงแบ่งตามกระบวนการทั้งสองดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แบบของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร

แบบการส่งผ่านความร้อน	เครื่องอบแห้ง	
	แบบกะ	แบบต่อเนื่อง
แบบการพาความร้อน	เครื่องอบแห้งแบบเตา เครื่องอบแห้งแบบถาดหรือชั้น	เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ เครื่องอบแห้งแบบสายพาน เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่น เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์-เบด(Fluidized bed)
แบบนำความร้อน	เครื่องอบแห้งแบบชั้นร้อน เครื่องอบแห้งแบบหม้อกวน	เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)
แบบการแผ่รังสี	เครื่องอบแห้งแบบชั้น	เครื่องอบแห้งแบบสายพาน
แบบเกิดความร้อนภายใน	ตู้อบไมโครเวฟ	อุโมงค์แบบไมโครเวฟ เครื่องอบแห้งไดอิเลคตริก
แบบผสม	เครื่องอบแห้งแบบชั้น	เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary dryer)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอัตราอบแห้ง

ปัจจัยต่างๆที่เป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง ได้แก่

1.ลักษณะธรรมชาติของอาหาร การจัดเรียงตัวของเซลล์ ทิศทางของรูเปิดภายในเซลล์ อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน หรืออาหารที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีอัตราการอบแห้งเร็ว

2.ขนาดและความหนาของอาหาร อาหารที่มีขนาดใหญ่หรือความหนามาก ความร้อนจะถ่ายเทไปยังใจกลางของชิ้นอาหารได้ช้า ทำให้อัตราการอบแห้งช้า อัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร ยิ่งอาหารมีความหนามาก การอบแห้งจะใช้เวลานานมาก

3.การจัดเรียงอาหารในขณะอบแห้ง ในการอบแห้ง ถ้าหารมีการจัดเรียงอาหารที่ดี โดยมีการกระจายอาหารอย่างสม่ำเสมอ ไม่ซ้อนทับกัน และปริมาณเหมาะสมกับประสิทธิภาพของตู้อบ จะทำให้ความร้อนถ่ายเทไปทั่วถึงชิ้นอาหารทำให้การอบแห้งเกิดได้สม่ำเสมอทั่วชิ้นอาหาร และอัตราการอบแห้งเกิดได้เร็ว

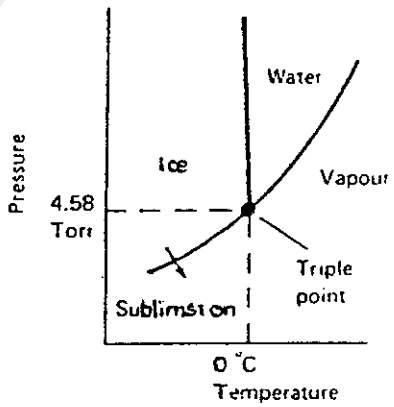
4.ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วของลม การระเหยน้ำจะเกิดได้ดีหรือไม่ ขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิและความเร็วลมซึ่งมีความสัมพันธ์กันคือ ถ้าความเร็วลมสูง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำและอุณหภูมิสูง น้ำจะระเหยออกได้เร็ว อัตราการอบแห้งสูง

5.ความดัน ที่ความดันต่ำๆความดันไอน้ำที่ผิวหน้าของอาหารจะสูงกว่าความดันของสิ่งแวดล้อม ทำให้น้ำสามารถระเหยออกจากผิวหน้าอาหารได้มาก อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้น

ปัจจุบันได้มีการศึกษากระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมีคุณสมบัติดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีอื่นๆหลายประการ เช่น ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างหรือการหดตัว (Shrinkage) น้อย การคืนตัวรวดเร็ว สี กลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการคืนตัวใกล้เคียงกับอาหารปรุงปกติ คุณค่าทางโภชนาการยังคงอยู่ (Karel and Frink, 1974)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นจากการทำแห้งโดยทั่วๆไป หลักการคือการนำเอาน้ำออกจากอาหารในสภาวะที่น้ำเป็นของแข็ง(น้ำแข็ง)ให้กลายสภาพเป็นไอ ซึ่งก็คือการระเหิด การระเหิดของน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อความดันไอและอุณหภูมิต่ำ สำหรับน้ำบริสุทธิ์การระเหิดจะเกิดขึ้นที่จุดที่อุณหภูมิและความดันไอที่ผิวหน้าของน้ำแข็งมีค่าต่ำกว่าจุดวัฏภาคของก๊าซ ของเหลวและของแข็ง ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 Phase diagram ของน้ำบริสุทธิ์

พิจารณา Phase diagram ของน้ำ ดังภาพที่ 2.4 น้ำบริสุทธิ์จะประกอบด้วย 3 สถานะคือ ของแข็ง (น้ำแข็ง) ของเหลว (น้ำ) และก๊าซ (ไอน้ำ) ซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกัน และสามารถเขียนแทนด้วยเส้นกราฟ 3 เส้น ตัดกันที่จุด Triple Point (0 องศาเซลเซียส , 4.58 ทอร์) ถ้าน้ำอยู่ในสภาวะที่มีความดันสูงและอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสจะมีสถานะเป็นของแข็ง ถ้าลดความดันรอบๆน้ำแข็งจนมีค่าต่ำมากๆ (ต่ำกว่า 4.58 ทอร์) น้ำในสภาวะของแข็งจะเปลี่ยนเป็นไอน้ำ ซึ่งก็คือเกิดการระเหิด

จากหลักการนี้สามารถนำมาใช้ทำอาหารแห้งได้ โดยการนำเอาอาหารมาแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของสารละลายในอาหารนั้น จากนั้นนำอาหารไปไว้ในสภาวะที่มีความดันต่ำ น้ำแข็งในเนื้ออาหารจะเกิดการระเหิดอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งน้ำแข็งในอาหารเกือบทั้งหมดถูกถ่ายเทออกไปทำให้อาหารแห้ง การระเหิดของน้ำแข็งจะต้องใช้ความร้อนจำนวนหนึ่งซึ่งเรียกว่า Heat of sublimation ซึ่งของน้ำมีค่าเท่ากับ 675.6 cal/g น้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหิดออกไปโดยไม่กลายเป็นของเหลวทำให้การเคลื่อนที่ของสารละลายต่างๆในผลิตภัณฑ์เกิดน้อย โครงสร้างของผลิตภัณฑ์จะยังคงอยู่ในรูปเดิมโดยไม่เกิดการหดตัว ในกระบวนการทำแห้งอุณหภูมิที่ใช้จะไม่สูงมากนักซึ่งจะทำให้เกิดการคงรักษาทางด้านสี กลิ่น รสชาติและคุณค่าทางอาหารได้ดี

ลักษณะอาหารแห้งที่ได้จากการทำแห้งโดยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

- **ลักษณะทางกายภาพ** อาหารแห้งจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีลักษณะแห้งเป็นรูพรุน ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำ ร้อยละของของแข็งที่ละลายได้ (% Soluble solid) มีค่าสูง มีน้ำหนักเบากว่าอาหารสดมาก เปราะแตกหักได้ง่าย มีขนาดเท่ากับอาหารสดก่อนการทำแห้ง
- **สี (Pigment)** ของอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีการเปลี่ยนแปลงน้อย เนื่องจากทำที่อุณหภูมิต่ำ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยน Chlorophyll ไปเป็น Brown pheophytin จะเกิดเมื่ออุณหภูมิของการทำแห้งสูง การเปลี่ยนของ Carotene เกิดการลดความเข้มของสี จะเกิดได้ดีเมื่อใช้อุณหภูมิสูงและใช้เวลาอบแห้งนาน สีของอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสีอ่อนกว่ากระบวนการอื่น เพราะการทำแห้งในกระบวนการอื่นมีการหดตัวซึ่งจะเป็นการเพิ่มความเข้มของสี
- **การหดตัว** อาหารแห้งที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีการหดตัวน้อย เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นน้ำแข็งในขณะทำแห้ง ทำให้เกิดรูพรุนเมื่อน้ำออกไป และสามารถเกิดการดูดซับได้รวดเร็วและสมบูรณ์ แต่อาหารอาจเกิดการหดตัวได้ถ้าขั้นตอนการแช่แข็งเกิดช้าๆ เพราะจะได้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ไม่สม่ำเสมออยู่ระหว่าง

เซลล์ น้ำจะขยายตัวเมื่อกลายเป็นน้ำแข็งทำให้เซลล์แตก และน้ำจะไหลออกจากเซลล์ ทำให้โครงสร้างของอาหารเสียไป การหดตัวอาจจะเกิดได้จากความร้อนที่สูงไป ดังนั้นอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมักจะทำที่อุณหภูมิต่ำ

- **การดูดซับน้ำเพื่อคืนรูป (Rehydration)** อาหารเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งก่อนนำมาบริโภคต้องทำการคืนรูปก่อน อาจใช้วิธีแช่ในน้ำร้อนหรือเติมน้ำร้อนลงไปใช้เวลาการคืนตัว 2-3 นาที ค่าร้อยละของการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีค่าสูง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์หลังการคืนตัวจะมีเนื้อสัมผัสที่ดีใกล้เคียงกับอาหารที่ปรุงตามปกติ ไม่เหนียว หรือ แข็งกระด้าง เนื่องจากน้ำสามารถแทรกไปตามรูพรุนของอาหารได้อย่างทั่วถึง ทำให้การกลับคืนสู่สภาพเดิมเกิดได้ค่อนข้างสมบูรณ์
- **กลิ่นและรสชาติ** กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารระเหยง่าย สี กลิ่น ของอาหารน้อยที่สุด การสูญเสียกลิ่นรสเนื่องจากเอนไซม์จะเกิดได้น้อยลงถ้าอาหารผ่านการต้มหรือลวก เนื่องจากความร้อนจะไปทำลายหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารหลายๆชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเทียบกับการทำแห้งด้วยวิธีอื่นๆ เช่นในผลิตภัณฑ์ซอสหอยกาบ (Clam paste) พบว่าซอสหอยกาบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีน้ำหนักเบา Bulk density ต่ำ ร้อยละของของแข็งที่ละลายได้ (% Soluble solid) มีค่าสูง รวมทั้งความสามารถในการดูดซับน้ำเพื่อคืนรูปมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยวิธีอบภายใต้สุญญากาศ (Vacuum drying) (An-Erl King et al.,1989) ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อไก่ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน (Air drying) กับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่ารูพรุน (Porosity) ของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งทั้งสองวิธีแตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีรูพรุนร้อยละ 62-64 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งโดยใช้ลมร้อนมีค่าร้อยละ 42 การดูดซับน้ำเพื่อคืนรูปของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีค่าสูงกว่าคือมีค่าร้อยละ 94-98 ในขณะที่การทำแห้งโดยใช้ลมร้อนมีค่าร้อยละ 65-70 การวัดด้านเนื้อสัมผัสโดยใช้ Instron พบว่าตัวอย่างที่ทำแห้งโดยใช้ลมร้อนมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 2-3 เท่า (Farkas and Singh,1991)

จะเห็นว่าการทำแห้งโดยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดีกว่าการทำแห้งด้วยวิธีอื่นๆ แต่ก็มีข้อจำกัดที่ทำให้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายกันนักคือ การลงทุนสูง ใช้เวลาในการผลิตนาน เนื่องจากอัตราการทำแห้งค่อนข้างต่ำ และการผลิตใช้ระบบสุญญากาศซึ่งการลงทุนค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถชดเชยได้จากการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการยืดอายุผลิตภัณฑ์โดยการแช่แข็งและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะดี เป็นที่ยอมรับ ในเชิงอุตสาหกรรมมักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง กลิ่นระเหยได้ง่าย เนื้อสัมผัสเสียง่าย และอาหารที่ทำแห้งได้ยากเช่น กาแฟ เห็ด สมุนไพร ซุป น้ำส้มสายชู อาหารทะเล น้ำผลไม้และเนื้อสัตว์เป็นต้น

ก. ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ข. ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน

ภาพที่ 2.5 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งกับผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งโดยใช้ลมร้อน

กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเกี่ยวข้องกับ 3 กระบวนการคือ

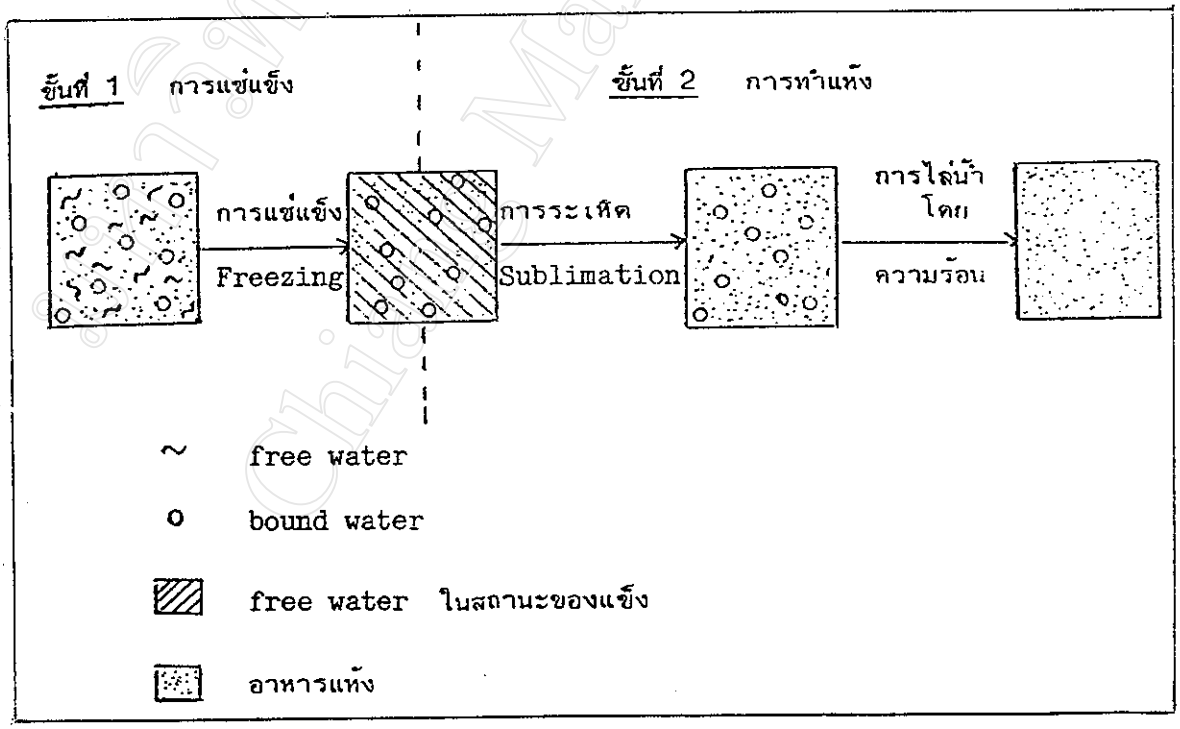
1. **Freezing stage** คือการทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์แข็งตัวโดยการนำอาหารมาแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของสารละลายในอาหารนั้น จนทำให้องค์ประกอบทุกตัวที่สามารถแข็งตัวได้ ในอาหารเกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์
2. **Primary drying stage** การระเหิดเอาส่วนของสารละลายที่แข็งตัวออกจากผลิตภัณฑ์โดยการลดความดันรอบๆชิ้นอาหารให้ต่ำลง จนน้ำแข็งเกิดการระเหิดอย่างต่อเนื่อง
3. **Secondary drying stage** คือการระเหยเอาสารละลายเข้มข้นที่ไม่แข็งตัวในผลิตภัณฑ์ออก ซึ่งต้องมีการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

Freezing stage การแช่แข็งมีความสำคัญต่อคุณภาพและการรักษาคุณค่าอาหาร อาหารจะถูกลดอุณหภูมิลงจนถึงจุดเยือกแข็งของสารละลายในอาหารนั้น สารละลายหรือน้ำในอาหารจะมีจุดเยือกแข็งต่างจากน้ำบริสุทธิ์ เพราะมีเกลือหรือโมเลกุลชีวภาพละลายอยู่ อีกทั้งโมเลกุลของน้ำบางส่วนยังสามารถยึดติดกับโมเลกุลหรือโครงสร้างของอาหารได้ด้วย สารละลายดังกล่าวจึงมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำกว่าน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงต้องใช้อุณหภูมิต่ำมากๆในการทำให้น้ำหรือสารละลายในอาหารจะเกิดการแข็งตัว

การแช่เยือกแข็งทำให้สารละลายที่อยู่ในอาหารแยกออกเป็นของผสม 2 ส่วนคือ

ก. ส่วนของเหลวหรือสารละลายอิสระที่สามารถแข็งตัวเป็นผลึกได้ทันที เมื่อถึงจุดเยือกแข็งหรือจุดแข็งตัวของมันซึ่งขึ้นกับธรรมชาติของของแข็งในตัวอย่าง มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 15-90 เรียกว่า Free water

ข. ส่วนของเหลวหรือสารละลายเข้มข้นที่ไม่แข็งตัวแต่จะข้นหนืดขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งกลายเป็นของเหลวที่แข็งและมีความหนืดสูงมาก มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 10-35 เรียกว่า Bound water



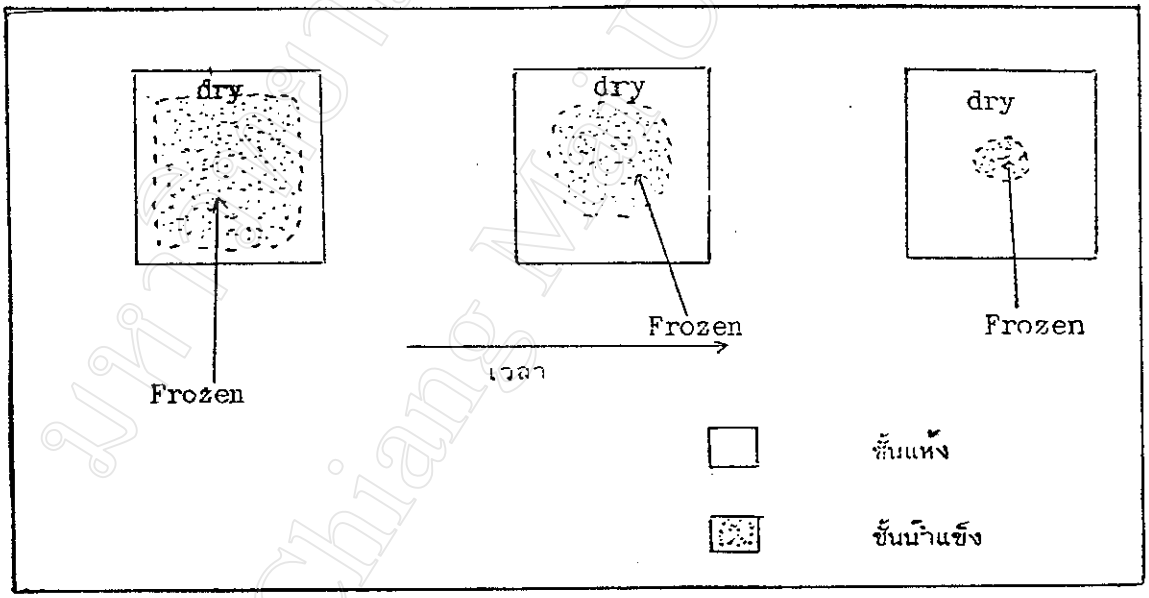
ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนของกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การแช่แข็ง (Freezing) แบ่งเป็น 2 วิธีคือ

- การแช่แข็งแบบเร็ว (Quick freezing) เป็นการทำให้อาหารแข็งใน 30 นาทีหรือน้อยกว่านั้น อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง –18 องศาเซลเซียส ถึง–40 องศาเซลเซียส
- การแช่แข็งแบบช้า (Slow freezing) เวลาที่ใช้ในการทำให้อาหารแข็ง 3-72 ชั่วโมงอุณหภูมิระหว่าง –15 องศาเซลเซียส ถึง –20 องศาเซลเซียส

แบบของการแช่เยือกแข็งและอัตราการตกผลึกระหว่างการแช่เยือกแข็งมีความสำคัญต่อโครงสร้างอาหาร รูปร่างรูพรุน ขนาดรูพรุน การกระจายตัวและการเชื่อมต่อของรูพรุนแตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากการกระจายของผลึกน้ำแข็งมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและมวล (Heat and mass transfer) ในผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้ง การแช่แข็งแบบเร็วทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก และทำให้มีพื้นที่ของการระเหิดมากกว่าในกรณีแช่แข็งแบบช้า อย่างไรก็ตามผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กจะทำให้ค่าการนำความร้อนต่ำ ดังนั้นการแช่แข็งแบบเร็วอัตราการทำแห้งจะเกิดเร็วในช่วงต้นเท่านั้น คือขณะที่เกิดการระเหิดของผลึกน้ำแข็งที่บริเวณผิวหน้าของอาหาร การแช่แข็งแบบช้าบางกรณีน้ำแข็งจะรวมตัวเป็นขนาดใหญ่ทำให้เกิดการทำลายเซลล์ของผลิตภัณฑ์ได้ อัตราการแช่แข็งมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์หลายด้าน Ettrup and Lorentzen (1973) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่มีผลต่อการคงอยู่ของกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์กาแฟ โดยศึกษาอิทธิพลของอัตราการแช่แข็งที่แตกต่างกันพบว่า อัตราการแช่แข็งแบบช้า (-40 องศาเซลเซียส) จะรักษากลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการแช่แข็งแบบเร็ว (พ่นฝอยกาแฟสกัดลงบนพื้นผิวที่เย็นที่มีอุณหภูมิ –52 องศาเซลเซียส) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและในผลิตภัณฑ์สตรอเบอรีพบว่า การแช่แข็งแบบช้า (-40 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงกว่าการแช่แข็งแบบเร็ว (จุ่มในไนโตรเจนเหลว) (Paakkonen and Mattila,1991) ในผลิตภัณฑ์เนื้อวัวพบว่าการ แช่แข็งแบบเร็ว (จุ่มในไนโตรเจนเหลว –196 องศาเซลเซียส 60 วินาทีจนมีอุณหภูมิภายใน –50 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสว่างกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งแบบช้าที่ –20 องศาเซลเซียส และ –30 องศาเซลเซียส แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่แข็งแบบช้าจะมีความชุ่มเนื้อ (Juiciness) และการดูดซับน้ำเพื่อคืนรูปดีกว่า โดยผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งแบบเร็วจะสามารถดูดซับน้ำเพื่อคืนรูปได้ร้อยละ 81 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งแบบช้าสามารถดูดซับน้ำเพื่อคืนรูปได้ร้อยละ 92 (Nils,1974)

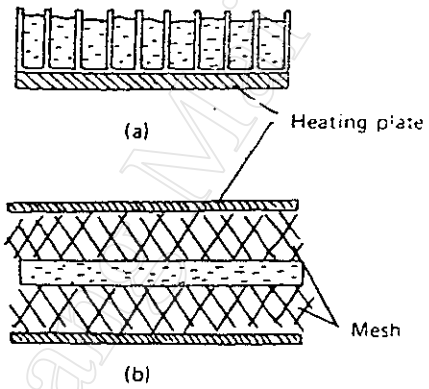
Primary drying stage หลังจากอาหารถูกแช่แข็งแล้ว จะเป็นการกำจัดน้ำเกือบทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารออกไปภายใต้สภาวะที่ควบคุม โดยอาศัยกระบวนการระเหิด ทำได้โดยลดความดันรอบๆ ชิ้นอาหารให้ต่ำลง การที่จะทำให้เกิดการระเหิดได้ ความดันต้องต่ำหรือใกล้จุด Equilibrium vapor pressure of frozen solvent ซึ่งระดับความดันที่แตกต่างกันจะมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์เช่นในผลิตภัณฑ์กาแฟซึ่งใช้ความดันในการทำแห้งช่วง 0.2-0.8 Torr พบว่าหากใช้ความดันในการทำแห้งสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพด้อยลง ที่ความดัน 0.2 Torr การคงอยู่ของกลิ่นและรสในผลิตภัณฑ์กาแฟจะดีที่สุด (Ettrup and Lorentzen,1973) ลักษณะการแห้งของอาหารเกิดจากการถ่ายเทไอน้ำจากบริเวณผิวหน้าของแกนน้ำแข็ง (Freezing core) ไปยังผิวหน้าของอาหารโดยกระบวนการระเหิด และจะเกิดเป็น ชั้นแห้งของอาหารล้อมรอบส่วนที่เป็นน้ำแข็ง ไอน้ำที่ระเหิดต้องซึมผ่านชั้นแห้งออกสู่ภายนอก คือผิวของน้ำแข็งจะเคลื่อนที่เข้าหาศูนย์กลางอาหาร ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การเคลื่อนที่ของชั้นน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เมื่อน้ำแข็งระเหิดออกไปในสภาพที่เป็นไอ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะลดลง ถ้าไม่ให้ความร้อนเพิ่มเข้าไปความดันในการระเหิดจะมีค่าเท่ากับความดันย่อยของไอน้ำในห้องของการทำแห้ง (Drying chamber) ระบบจะเข้าสู่สมดุล การระเหิดจะไม่เกิดขึ้นอีกต่อไป นอกจากจะมีการเพิ่มความร้อนเข้าไปอีก ซึ่งกระทำได้โดยการนำ (Conduction) การพา (Convection) และ การแผ่รังสี (Radiation) หรือการใช้ไมโครเวฟ

การให้ความร้อนโดยการนำและการพา โดยทั่วไปมักใช้แผ่นนำความร้อน (Contact heat plates) มีลักษณะเป็นถาดตื้นๆ ซึ่งอาหารวางบนแผ่นให้ความร้อนในแนวราบ การให้ความร้อนโดยวิธีนี้อาจเกิดขึ้นอย่างมีขีดจำกัด เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปการนำความร้อนจากน้ำแข็งจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากการเกิดชั้นแห้ง และชั้นที่มีรูพรุน ความร้อนที่ให้อาจทำลายชั้นแห้งของอาหารได้ ซึ่งในระยะหลังสามารถแก้ได้โดยใช้แผ่นความร้อนประกบทั้งด้านบนและด้านล่างผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำความร้อนได้ทั่วถึง ทำให้การทำแห้งเร็วขึ้น



ภาพที่ 2.8 แผ่นให้ความร้อนรูปแบบต่างๆในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

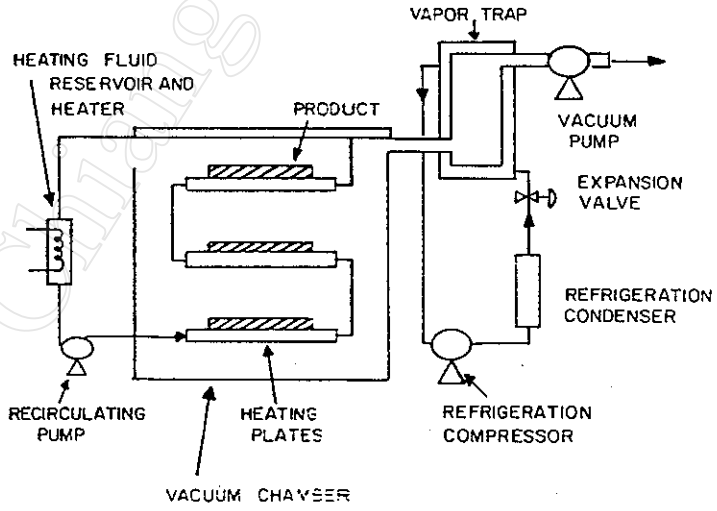
a. แผ่นให้ความร้อนแบบตะปู (Spike plate heat) b. แผ่นให้ความร้อนแบบประกบ (Double contact plate heat)

การให้ความร้อนโดยอาศัยกระบวนการแผ่รังสี มีข้อจำกัดคือลักษณะอาหารไม่สม่ำเสมอ และการเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมทำได้ยาก ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการบดบังของรังสีทำให้อาหารแห้งไม่พร้อมกันและอาจทำให้อาหารบางส่วนไหม้ได้

การให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ ตามทฤษฎีแล้วจะเสริมช่วยอัตราการอบแห้งได้อย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าการถ่ายเทความร้อนไม่จำเป็นต้องมีความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำแข็งสามารถที่จะรักษาให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดของชั้นที่จะแข็งตัว โดยไม่จำเป็นต้องให้อุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าสูงเกินไป อย่างไรก็ตามการใช้ไมโครเวฟในอุตสาหกรรมยังมีข้อจำกัดคือ ราคาค่อนข้างแพง และมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการแตกตัวของก๊าซภายในห้องอบแห้ง ซึ่งจะทำลายอาหารและเกิดการสูญเสียพลังงานได้ และยากในการควบคุม ทั้งนี้เพราะว่าน้ำมีการสูญเสียของไดอิเลคตริก (Dielectric loss factor) สูงกว่าของน้ำแข็ง และถ้าเกิดการหลอมเหลวเฉพาะแห่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลคือเกิดความร้อนที่มากเกินไป

อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างสมบูรณ์เพื่อที่จะทำให้ไอน้ำระเหยออกไปอย่างต่อเนื่องเพื่อคงสภาพไม่สมดุลของการทำแห้ง

น้ำที่ระเหิดระหว่าง Primary drying stage จะแพร่ (Diffusion) ผ่านโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของชั้นแห้ง (Dry layer) และจะถูกดึงออกจากห้องการทำแห้งโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ไอน้ำที่ดึงออกจะถูกทำให้แข็งตัวโดยผิวที่เย็นของ Condensor จนเป็นน้ำแข็ง เวลาที่ชั้นน้ำแข็งระเหิดออกหมดบ่งบอกถึงการสิ้นสุด Primary drying stage



ภาพที่ 2.9 ระบบของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Secondary drying stage ขั้นนี้เกี่ยวข้องกับการแยกน้ำที่ติดอยู่กับอาหารซึ่งไม่อาจแยกออกได้ (Bound water) ออก ตามทฤษฎีแล้วจะเกิดภายหลังจากหลังจากสิ้นสุด Primary drying stage น้ำในส่วนนี้ เกิดเนื่องจากกลไกของ

ก. Physical adsorption น้ำที่ดูดซับเป็นชั้นบางๆเป็นชั้นโมเลกุลเดี่ยวๆหรือหลายชั้นในอาหาร เกิดจากแรงระหว่างโมเลกุลของน้ำและ Capillary

ข. Chemical adsorption น้ำที่จับตัวทางเคมีกับเกลือบางชนิดเช่น NaOH หรือ $CuSO_4.5H_2O$

ค. Water of crytallization น้ำที่ดูดซับด้วยสารคอลลอยด์และอยู่ในสภาพเจลที่สามารถพองตัว อันเกิดจากคุณสมบัติการมีขั้วของน้ำ

ขั้นตอนนี้มีผลต่ออัตราการทำแห้ง และเวลาการทำแห้งค่อนข้างมาก เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการนำเอาน้ำส่วนนี้ออกใช้เวลาค่อนข้างนาน น้ำส่วนนี้สามารถแยกออกได้โดยการให้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ แต่ความร้อนที่ให้ไปไม่สามารถเพิ่มได้อย่างอิสระ เพราะอุณหภูมิที่ให้นั้นต้องสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งโดยไม่เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. การละลายของน้ำแข็งเพราะถ้าการละลายเกิดขึ้นจะไม่สามารถเกิดการระเหิด

ข. การสูญเสียโดยปฏิกิริยาทางเคมีและชีวภาพ

ค. การเปลี่ยนแปลงสี ของผลิตภัณฑ์

ง. การสูญเสียโครงสร้างของชั้นที่แห้งแล้ว

เพื่อเป็นการรักษาความคงตัวของโครงสร้าง และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้ง อุณหภูมิที่ใช้มักอยู่ในช่วง 10-35 องศาเซลเซียส สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงง่ายเนื่องจากความร้อนและ 50 องศาเซลเซียส สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทนความร้อนได้อาจใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านั้น สำหรับอาหารโดยทั่วๆไปอุณหภูมิที่ใช้มักจำกัดที่ 40-65 องศาเซลเซียส เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียสภาพของโปรตีน และ การเปลี่ยนสภาพทางเคมีที่จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง ในผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี่แห้งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในการทำแห้งที่ 20 องศาเซลเซียส และ40 องศาเซลเซียส (Paakkonen and Mattila, 1991) ในผลิตภัณฑ์ Blakcurrant juice ที่ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งช่วง 20-60 องศาเซลเซียส พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส จะเกิดการสูญเสียวิตามิน และ แอนโธไซยานิน (Irzyniec et al., 1995)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารระหว่างการอบแห้งและปรากฏการณ์การยุบตัวระหว่างการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปรากฏการณ์มากมายเกิดขึ้น ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องประเมินโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ ถ้าการอบแห้งทำที่อุณหภูมิต่ำ สภาพการเคลื่อนที่ของสารละลายเข้มข้นสูงๆ จะเกิดช้ามากจนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขึ้นในระหว่างการทำแห้ง จากผลดังกล่าวโครงสร้างที่ได้จึงประกอบด้วยรูพรุนซึ่งเป็นตำแหน่งเดิมของน้ำแข็ง ในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งสูงกว่าระดับวิกฤต สภาพการเคลื่อนที่ของสารละลายเข้มข้น อาจจะสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดการไหลและการสูญเสียโครงสร้างเดิมของตัวถูกละลายที่แยกตัว ซึ่งเกิดในระหว่างการแช่เยือกแข็ง (Karel,1975) ระหว่างการทำแห้งจะปรากฏความแตกต่างของอุณหภูมิและความแตกต่างของความชื้นในผลิตภัณฑ์ สภาพการเคลื่อนที่และการยุบตัวของสารละลายเข้มข้นจะแตกต่างกันจากแหล่งหนึ่งกับอีกแหล่งหนึ่ง และเกิดการยุบตัวซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและ/หรือปริมาณความชื้นสูง อย่างไรก็ดีเนื่องจากความแตกต่างของทั้งสองพารามิเตอร์ในการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีลักษณะตรงกันข้ามกัน ดังนั้นการยุบตัวอาจจะเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของชั้นแห้งมากกว่าที่จะเกิดที่ผิวหน้า

อัตราเร็วของการทำแห้ง

การศึกษาอัตราเร็วของการทำแห้งเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากการทำแห้งในสภาพแช่แข็งใช้เวลานานทำให้เสียเวลา เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ซึ่งอัตราเร็วของการทำแห้งในสภาพแช่แข็งจะสัมพันธ์กับการถ่ายเทพลังงานภายในระบบ ได้แก่ การถ่ายเทไอน้ำและการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทมวลและความร้อนในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

โดยทฤษฎี ทุกๆมวลของน้ำที่ระเหิดไปจากผิวหน้าของน้ำแข็ง จะต้องมีพลังงานที่จะทำให้เกิดการระเหิด ซึ่งก็คือความร้อนแฝงในการระเหิดของน้ำนั่นเอง เมื่อเป็นเช่นนี้กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเกี่ยวข้องกับหลักการถ่ายเทความร้อนและมวล ซึ่งอัตราการทำแห้งนี้จะขึ้นกับระดับความต้านทานต่อปัจจัยทั้งสอง

การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

ก. การถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นน้ำแข็ง (Heat transfer through the frozen layer) ความร้อนจะถ่ายเทจากผิวหน้าของอาหารและผ่านชั้นของผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณที่เกิดการระเหิด ซึ่งก็คือความร้อนแฝงของการระเหิดจะถ่ายเทจากแหล่งให้ความร้อนไปยังบริเวณการระเหิดภายในชิ้นอาหารและไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องควบแน่น อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความหนา และค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำแข็ง ถ้าความหนาไม่มากอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่ให้จะต้องไม่ทำให้เกิดการละลายของชั้นน้ำแข็ง

ข. การถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นแห้ง (Heat transfer through the dried layer) อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นกับความหนาและพื้นที่ของอาหารรวมทั้งค่าการนำความร้อนของชั้นแห้งกับผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวกับชั้นน้ำแข็ง ชั้นแห้งจะมีค่าการนำความร้อนค่อนข้างต่ำ ดังนั้นยิ่งผลิตภัณฑ์หนายิ่งนำความร้อนได้ช้า

ระบบการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ไอน้ำที่ระเหิดออกจากอาหารจะถูกดึงออกจากห้องการทำแห้งโดยอาศัยความแตกต่างของความดันในห้องการทำแห้ง จากนั้นไอน้ำที่ถูกดึงออกจะไปควบแน่นเป็นน้ำแข็งที่ผิวของ Condensor ดังนั้นอุณหภูมิของ Condensor ต้องต่ำมากๆ เพื่อที่จะสามารถดึงน้ำออกได้มากที่สุด

ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุม Vapour pressure gradient คือ

ก. ความดันใน Drying chamber

ข. อุณหภูมิของ Condensor ควรต่ำให้มากเท่าที่จะทำได้

ค. อุณหภูมิที่เพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยในการระเหิดควรสูงเท่าที่จะทำได้โดยไม่เกิดการละลายของน้ำแข็ง

ในเชิงเศรษฐศาสตร์มักใช้ที่ความดัน 13 Pa และ อุณหภูมิของ Condensor มักให้ต่ำที่ –35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการระเหิดต้องต่ำกว่า Freezing point ของผลิตภัณฑ์

การถ่ายเทมวล ที่อัตราการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งปานกลาง น้ำแข็งแต่ละกรัมเมื่อระเหิดจะให้ไอน้ำประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ค่าความดัน 1 Torr และอาจให้ไอน้ำ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ค่าความดัน 0.5Torr ก็ได้ ไอน้ำที่เกิดจากการระเหิดจะถูกถ่ายเทออกจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการถ่ายเทมวลในผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการแพร่ของโมเลกุลจะเกิดช้ามาก ดังนั้นโรงงานทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงต้องใช้ระบบแบบสุญญากาศ นอกจากนี้การถ่ายเทไอออกจากผลิตภัณฑ์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่จำกัดอัตราของกระบวนการระเหิด การไหลของไอน้ำจากบริเวณส่วนหน้าของการระเหิดจะพาเอาก๊าซที่ไม่ควบแน่นออกไป เพื่อป้องกันการสร้างความดันขึ้นในห้องการทำแห้งซึ่งเมื่อความดันเพิ่ม อุณหภูมิที่บริเวณส่วนหน้าของการระเหิดจะสูงขึ้นด้วย ทำให้เกิดการหลอมเหลวของอาหารเยือกแข็งได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์อาหารสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากในอาหารจะมีสารอาหารอยู่มากมายเช่น คาร์โบไฮเดรท ไขมันและโปรตีน ซึ่งสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่างๆ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและอาจทำให้เกิดการเสื่อมเสียกับผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา มีดังนี้

1. การเจริญเติบโตและปฏิกิริยาของจุลินทรีย์พวก แบคทีเรีย ยีสต์และรา
2. ปฏิกิริยาของเอนไซม์ในอาหารหรือปฏิกิริยาเคมีในอาหาร
3. การรบกวนจากแมลงและหนู
4. การเก็บในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม
5. การได้รับหรือสูญเสียความชื้นในผลิตภัณฑ์
6. ปฏิกิริยาที่เนื่องจากออกซิเจน
7. การหืนของไขมันเนื่องจากแสงหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน
8. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การแตกหัก
9. ระยะเวลาในการเก็บ

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บอาหารแห้ง

สาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บมี 2 อย่างคือ ความชื้นและก๊าซออกซิเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของ สี กลิ่นและรสชาติ หรือเนื้อสัมผัสของอาหาร สามารถจำแนกกระบวนการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation change)

   ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ เช่นการเปลี่ยนแปลงในไขมัน การเกิด Autoxidation ของไขมันไม่อิ่มตัวเกิดได้เนื่องจากความร้อน แสง และโลหะ ทำให้เกิดกลิ่นหืน การออกซิเดชันของCarotenoid ทำให้สีของผลิตภัณฑ์จางลงหรือคุณค่าทางอาหารลดลง ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถป้องกันได้โดยลดปริมาณออกซิเจนให้ต่ำลงหรือแทนที่ออกซิเจนด้วยก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน

2. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง (Non-enzymatic change)

ตัวอย่างเช่นการเกิด Maillard reaction ระหว่าง Reducing sugar และ Amino acid ของโปรตีนลักษณะการเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็น Di และ Polycarbonyl compounds แล้วจึงเกิด Polymerizationให้ Brown pigment เกิดขึ้น ทำให้เกิดเป็นสีน้ำตาลในอาหาร ปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถป้องกันได้โดยลดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลง ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้ยาก

3. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (Enzymatic change)

เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหารได้แก่ Phenolase Lipase และ Lipoxidase ซึ่งทำให้เกิดการแยกของไขมันในอาหาร ทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้

4. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการสลายตัวของสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Nutritional change)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดการสูญเสียของวิตามิน เนื่องจากความชื้นและอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา

5. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ (Microbiological change)

ถ้าในอาหารมีจุลินทรีย์อยู่ซึ่งอาจปนเปื้อนมาในระหว่างการผลิตหรือเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมี

6. การเสื่อมเสียทางกายภาพ (Physical change)

เกิดจากลักษณะของอาหารที่มีความเปราะและแตกหักง่ายหรือสูญเสียรูปทรง ดังนั้นภาชนะในการบรรจุ ควรต้องมีโครงสร้างที่สามารถปกป้องการแตกหักหรือการถูกกระทบกระเทือนได้

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ปริมาณความชื้นและก๊าซออกซิเจนในอากาศมีความสำคัญมาก เนื่องจากอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีลักษณะเป็นรูพรุน ง่ายต่อการดูดความชื้นและมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับก๊าซออกซิเจนได้มาก จึงมีโอกาสที่จะเกิดการ Oxidation ได้สูง ดังนั้นภาชนะในการบรรจุและสภาวะในการเก็บรักษาจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อการช่วยยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ให้ยังคงมีคุณภาพที่ดีอยู่ ภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ควรมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและอากาศได้ดี ป้องกันแสงได้

เนื่องจากอาหารแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน มีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาสูง โอกาสที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายและรวดเร็ว อาหาร จะเสียคุณสมบัติได้ภายใน 1 ชั่วโมง ภาชนะที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เช่น กระป๋อง แก้ว และ อลูมิเนียมเปลว สภาวะการเก็บที่เหมาะสมเช่น ปริมาณออกซิเจนและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เป็นต้น วิธีการที่เหมาะสมในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เช่น การบรรจุในระบบสุญญากาศแล้วตามด้วยการเติมก๊าซเฉื่อยไปแทนที่ เช่น การใช้ก๊าซไนโตรเจน หรือการใช้ Catalytic หรือ Enzymatic oxygen scavenging การใช้สารดูดความชื้น (Desiccant) หรือ การเติมสารเคมีกันหืนลงไปในอาหาร

การใช้อลูมิเนียมเปลวในการเป็นภาชนะบรรจุ (Aluminium foil)

อลูมิเนียมเปลว หมายถึง อลูมิเนียมแผ่นบางที่มีความหนาน้อยกว่า 152.4 ไมครอน ได้จากการรีดโลหะผสมอลูมิเนียม ที่มีส่วนผสมของอลูมิเนียมมากกว่าร้อยละ 90 มีความมันวาว อลูมิเนียมเปลวทำจากอะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.35 การผลิตเริ่มจากการหลอมอลูมิเนียมแล้วหล่อลงในแบบเป็นแท่งสี่เหลี่ยมยาวแล้วจึงตัดเป็นท่อนๆ นำมาเผาให้ร้อนผ่านเครื่องรีดร้อนเพื่อลดความหนาลงเรื่อยๆ จนได้ความหนาสุดท้ายของอลูมิเนียมเปลวตามที่ต้องการ

ลักษณะพิเศษและคุณสมบัติ อลูมิเนียมเปลวนิยมใช้เป็นวัสดุหีบห่อ เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษดังนี้

- อายุการใช้งานนาน
- ราคาถูก เนื่องจากอลูมิเนียมสามารถรีดเป็นแผ่นได้ค่อนข้างบาง เมื่อคิดต่อมวลที่เท่ากันแล้วอะลูมิเนียมมีพื้นที่ใช้งานเป็น 3 เท่าของดีบุก และมากกว่า 4 เท่าของตะกั่ว
- เป็นโลหะที่มีอยู่มากมายบริเวณเปลือกโลก
- มีคุณสมบัติเด่นหลายประการเช่นพับได้ เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนสูง ต้านทานต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นพิษ น้ำหนักเบา เป็นเงาและสะท้อนแสง กันความชื้นได้ดีเลิศ

คุณสมบัติในการใช้งาน

อลูมิเนียมใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์ประเภทอ่อนตัว เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสวยงามและสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน คุณสมบัติการใช้งานของอลูมิเนียมสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติและการใช้งานของอลูมิเนียมเปลว

ลักษณะที่สำคัญ	คุณสมบัติ
รูปแบบ	เป็นม้วนหรือแผ่น
ความหนา	4.3-150 ไมครอน(0.00017-0.0059นิ้ว)
การซึมผ่านของไอน้ำ	• ความหนามากกว่า 25.4 ไมครอน(0.001 นิ้ว)ไอน้ำซึมผ่านไม่ได้ • ความหนา 8.9 ไมครอน (0.00035 นิ้ว) มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำน้อยกว่า 0.065 กรัม/ตารางเมตร/วัน (0.02 กรัม/100 ตารางนิ้ว/วัน)ที่ 37.8 องศาเซลเซียส (100 องศาฟาเรนไฮต์) • ถ้าผนึกอะลูมิเนียมเปลวหนา 8.9 ไมครอน(0.00035 นิ้ว) กับฟิล์มที่เหมาะสม ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำลดลงเป็นศูนย์ได้
ความต้านทานต่อการกัดกร่อน	สารออกไซด์ที่ฉาบผิวหน้าอยู่ตามธรรมชาติของอะลูมิเนียมจะช่วยป้องกันการกัดกร่อน
การทำเป็นรูปร่าง	พับแบนได้
การดูดซึมของเหลว	ป้องกันน้ำและของเหลวได้หลายชนิด
การป้องกันไขมัน	ไม่ดูดซึมไขมัน
ด้านสุขลักษณะ	ฆ่าเชื้อได้ด้วยความร้อน ผิวมันเรียบป้องกันการปนเปื้อนและความชื้นที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ
ความเป็นพิษ	ไม่ทำให้เกิดสารพิษต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ยา เครื่องสำอาง เคมีหรือสินค้าอุตสาหกรรม
ผลกระทบต่อกลิ่นและรส	ไม่ทำให้กลิ่นหรือรสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป
การส่องผ่านของแสง	แสงผ่านเข้าไม่ได้ ต้านทานการกัดกร่อนได้สูงในทุกสภาพแวดล้อม
การปิดผนึก	ให้รอยพับที่สนิทและเกาะติดกับสารประกอบที่ช่วยในการปิดผนึกหลายชนิด

การใช้ Catalytic หรือ Enzymatic oxygen scavenging

เทคโนโลยีการใช้ Oxygen scavenger หรือ Oxygen absorber มาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยการลดปริมาณก๊าซออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลง เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาจากการบรรจุในสภาวะสุญญากาศหรือเติมก๊าซเฉื่อยลงไป การใช้ oxygen absorber จะทำให้การกำจัดก๊าซออกซิเจนเกิดได้ดีขึ้นและสะดวกในการใช้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบการกำจัดก๊าซออกซิเจนด้วยวิธีต่างๆ

System	Residual O_2 kPa	Capital investment	Film Cost	Filling speed
a. Vacuum	< 1.5	High	High	Low
b. N_2 Flush	1-2	Medium	High	Medium
c. a+b	<1.0	High	High	Low
d. Scavenger	<0.1	Low	Medium	High
e. b+d	<0.1	Medium	Medium	Medium

วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีเหล่านี้ เป็นการช่วยลดการใช้สารเจือปนอาหาร (Food additive) และลดการใช้น้ำตาลหรือเกลือที่มากเกินไปในการถนอมอาหาร ซึ่งปริมาณสารต่างๆที่มากเกินไปจะมีผลต่อผู้บริโภคเช่น การใช้น้ำตาลที่มากเกินไปทำให้เกิดโรคอ้วน โรคเบาหวาน ส่วนการบริโภคเกลือมากเกินไปมีผลต่อโรคไต และการใช้สารกันบูด ถ้าผู้บริโภคมีการบริโภคและสะสมไว้ในร่างกายปริมาณมากจะส่งผลทำให้เกิดโรคร้ายต่างๆได้

Oxygen Scavenger (วัสดุที่ใช้ในการจับก๊าซออกซิเจน) หลักการคือวัสดุใดก็ตามที่เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วกับก๊าซออกซิเจนและทำให้ออกซิเจนถูกใช้ไปได้ปริมาณมากและรวดเร็วสามารถนำมาทำเป็นตัวจับออกซิเจนได้ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการนำเทคโนโลยีนี้นำมาใช้กับอาหาร จึงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1.ปลอดภัย

2.การจัดการง่าย

3.ไม่สร้างสารพิษหรือมีผลกระทบต่อกลิ่นรสอาหาร

4.ขนาดกะทัดรัด สะดวกในการใช้

5.สามารถดูดซึมก๊าซอกซิเจนได้มาก ในอัตราที่เหมาะสม

6.ราคาเป็นไปได้ ไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนรวมในการผลิตมากเกินไป

วัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาใช้คือ ผงเหล็กและกรดแอสคอบิก (Ascorbic acid) ผงเหล็กนำมาใช้เดี่ยวๆหรือใช้ร่วมกับสารอื่นๆก็ได้ เพื่อให้มีคุณสมบัติอื่นๆร่วมด้วย

ตารางที่ 2.7 ชนิดของ Oxygen absorber รูปแบบต่างๆ

Function	Reactant	Application	Absorbtion speed
$O_2\downarrow$	Iron	**Shelf-working type**	
		Dry Aw (Aw < 0.3) Tea;Nut	4 to 7 days
		Medium Aw (Aw < 0.65)	1 to 3 days
		Dried beef	
		High Aw (Aw > 0.65)	0.5 days
		Cake;Bakeries	
		Frozen temp +3 to – 25 °C	3 days at –25 °C
		Raw fish	
		Moisture dependent type	
		High Aw (Aw > 0.85) Pastas	0.5 days
	Catechol	**Shelf-working type**	
		Medium Aw (Aw < 0.65)	
		Nuts	
		High Aw (Aw > 0.65) Cakes	
$O_2\downarrow$& $CO_2\downarrow$	Iron + Calcium	**Shelf-working type**	3 to 8 days
		Roasted coffee	
$O_2\downarrow$& $CO_2\uparrow$	Ascorbic acid	**Shelf-working type**	1 to 4 days
		Medium Aw (0.3 < Aw < 0.5)	
		Nuts	
	Ascorbic acid + Iron	**Moisture dependent type**	
		High Aw (Aw > 0.85) Cakes	
$O_2\downarrow$& Etthanol$\uparrow$	Iron + Ethanol/Zeolite	**Moisture dependent type**	
		High Aw (Aw > 0.85) Cakes	

ระบบโดยทั่วไปจะใช้ผงเหล็ก Powder active iron ซึ่งมีความสามารถดูดซึมก๊าซออกซิเจนโดยเปลี่ยนตัวเองเป็น Iron oxide และ Hydroxideซึ่งเป็นสารที่ไม่มีพิษดังสมการ

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e$$

$$\tfrac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e \longrightarrow 2OH^-$$

$$Fe^{2+} + 2(OH)^- \longrightarrow Fe(OH)_2$$

$$Fe(OH)_2 + \tfrac{1}{2} O_2 + \tfrac{1}{2} H_2O \longrightarrow Fe(OH_3)$$

การป้องกันผงเหล็กหรือสนิมเหล็กไม่ให้มีผลต่อสีในอาหารคือ จะบรรจุผงเหล็กในถุงกันความชื้นและก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านเพื่อเข้าทำปฏิกิริยาได้ดี

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้ตัวจับก๊าซออกซิเจนชนิดต่างๆ

การเลือกใช้ตัวจับก๊าซออกซิเจนสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และอายุการเก็บรักษาที่ต้องการเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆร่วมด้วยดังนี้

- ธรรมชาติของอาหาร ขนาด รูปร่าง น้ำหนัก
- Aw ของอาหาร
- ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ละลายปนในอาหาร
- อายุการเก็บที่ต้องการ
- ระดับของก๊าซออกซิเจนใน Package headspace
- การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุ ดังนั้นภาชนะบรรจุจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการช่วยให้ตัวจับออกซิเจนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ชนิดของฟิล์มบรรจุที่ใช้ร่วมกับ Oxygen absorber

	Film laminateds including	OTR($ml/m^2/d$)	MVTR($g/m^2/d$)
Long-term preservation	Aluminium	< 0.6	< 0.6
	EVOH	< 3	< 4
	PVDC	< 15	< 8
Short-term preservation	Nylon	< 16	< 40
	PET	< 15	< 100
Not appropriate	Cellophane	< 200	< 20
	PP	< 2000	< 6
	PE	<3000	< 5

OTR= oxygen transmission rate; MVTR = moisture vapour transmission rate; EVOH = ethylene vinyl alcohol; PVDC = polyvinylidene chloride; PET = polyester; PP= polypropylene; PE = polyethylene

ข้อได้เปรียบของการใช้ตัวจับก๊าซออกซิเจน การใช้ตัวจับก๊าซออกซิเจนบรรจุร่วมกับผลิตภัณฑ์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีข้อได้เปรียบหรือมีลักษณะที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้ดังนี้

- ราคาไม่แพง ใช้ง่าย
- ได้รับการยอมรับจาก US Food and Drug Administration ว่าไม่มีพิษ ปลอดภัยในการใช้
- ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ (Aerobic microbial) และยืดอายุผลิตภัณฑ์
- สามารถป้องกันการหืนหรือกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากน้ำมันและไขมัน (Off flavour)
- รักษากลิ่นรส โดยป้องกันการเกิด Oxidation ของ Flavour compound
- รักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ได้โดยไม่ต้องใช้สารเจือปนอาหาร (Additive)
- ยืดอายุผลิตภัณฑ์
- ลดการสูญเสียระหว่างการขนส่ง
- แทนที่ยาฆ่าแมลงที่ต้องใช้ในการป้องกันการถูกทำลายจากแมลง
- ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการที่ต้องใช้ระบบสุญญากาศหรือเติมก๊าซไนโตรเจน

ข้อเสียเปรียบในการใช้ตัวจับก๊าซออกซิเจน การใช้ตัวจับก๊าซออกซิเจนบรรจุร่วมในผลิตภัณฑ์มีข้อจำกัดดังนี้

- ต้องใช้ภาชนะบรรจุที่อากาศไม่สามารถซึมผ่านได้
- อาจทำให้เกิดกลิ่นเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงหรืออาหารที่มีน้ำมัน
- ราคาแพง (0.75-2.50 บาทต่อ1ชิ้น)
- ผู้บริโภคอาจกังวลว่าอาจปนเปื้อนกับอาหารหรือผู้บริโภคอาจใช้ผิด
- อาจทำให้แบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศเจริญได้

การใช้ก๊าซในบรรจุภัณฑ์อาหาร

Gas-Exchange Packaging หมายถึงการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศของก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิด โดยอัตราส่วนของก๊าซต่างๆ จะแตกต่างไปจากอัตราส่วนที่พบในบรรยากาศปกติ

โดยทั่วไป มักเรียกการบรรจุภายใต้บรรยากาศของก๊าซนี้ว่า Control Atmosphere Packaging ซึ่งสามารถจำแนกกระบวนการบรรจุนี้ได้เป็น 4 ประเภท

1. **Controlled Atmosphere Packaging (CAP)** หมายถึง การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ และอัตราส่วนนี้จะคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์
2. **Modified Atmosphere Packaging (MAP)** หมายถึง การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ และอัตราส่วนนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลา โดยขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อัตราส่วนของก๊าซแรกเริ่ม วัสดุบรรจุที่ใช้ และสภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์นั้นๆ
3. **Gas-Flush Packing** หมายถึง การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้บรรยากาศของก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจน โดยการพ่นก๊าซนั้นๆเข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะ วิธีนี้นิยมสำหรับไล่ก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่นอาหารที่มีไขมันมาก น้ำผลไม้ เป็นต้น
4. **Vacuum Packaging** หมายถึง การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สุญญากาศ โดยการดึงเอาอากาศภายในภาชนะและหรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไป และไม่มีการพ่นก๊าซใดๆเข้าไปแทนที่ ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกภาชนะ สังเกตได้จากการหดรัดตัวของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว (Flexible Form) หรือการยุบตัวของภาชนะประเภทกึ่งคงรูป (Semi-Rigid Form) โดยทั่วไปความดันภายในภาชนะจะมีค่าประมาณ 0.5-8 ทอร์ (Torr) ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์และระบบการบรรจุ

คุณสมบัติของก๊าซที่ใช้ในการบรรจุร่วมในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. **ก๊าซออกซิเจน** ในอากาศมีก๊าซออกซิเจนประมาณร้อยละ 20.9 คุณสมบัติสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารคือ
   1.1 สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบต่างๆ ในอาหาร เช่น ไขมัน วิตามิน เป็นต้น อาหารที่มีไขมันสูงหรืออาหารที่สูญเสียวิตามินได้ง่ายควรบรรจุให้อยู่ภายใต้บรรยากาศที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน เพื่อป้องกันปฏิกิริยาเหล่านี้
   1.2 จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่สำคัญคือ แบคทีเรียที่ชอบอากาศ เช่น Pseudomonas, Micrococcus เป็นต้น และเชื้อราแทบทุกชนิด การบรรจุอาหารในสภาพไร้ก๊าซออกซิเจน หรือมีก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 0.1 จะสามารถป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารจากการกระทำของจุลินทรีย์ดังกล่าวนี้ได้
   1.3 จำเป็นสำหรับการหายใจของพืช ผักและผลไม้ แม้จะเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วก็ตาม ยังคงหายใจตลอดเวลาจนกว่าเซลจะตาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีก๊าซออกซิเจนเพียงพอระหว่างการเก็บเกี่ยวผลไม้เหล่านี้
   1.4 จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการฟักไข่ของหนอน และแมลงต่างๆ
   1.5 จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาออกซิจิเนชันของไมโอโกลบิน เพื่อให้เนื้อมีสีแดงของออกซิไมโอ-โกลบิน
   1.6 สามารถทำให้เกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ในอาหาร ทำให้คุณภาพด้านสีของอาหารด้อยลง

2 **ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์** ในอากาศปกติจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงร้อยละ 0.03 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงๆ จะมีบทบาทสำคัญมากต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร คุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คือ
   2.1 ชะลออัตราการหายใจของพืช โดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจของพืชจะลดลง ทำให้อายุการเก็บรักษาของผัก และผลไม้สด เพิ่มขึ้น
   2.2 ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด โดยทั่วไปมักเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ว่าเป็น Bacteriostatic หรือ Fungistatic agent คือจะยับยั้งการเจริญเติบโตเท่านั้น มิได้ทำลายหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์
   2.3 สามารถละลายได้ดีในน้ำและไขมัน และการละลายนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง

3 **ก๊าซไนโตรเจน** ในอากาศทั่วไปจะมีก๊าซไนโตรเจนประมาณร้อยละ 79 คุณสมบัติสำคัญที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารคือ

3.1 เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี จึงมักใช้ในการแทนที่ก๊าซออกซิเจน เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร นอกจากนี้ยังนิยมใช้ก๊าซไนโตรเจน เพื่อรักษาระดับความดันภายในภาชนะบรรจุ ป้องกันการยุบตัวของภาชนะ และการแตกหักเสียรูปทรงของผลิตภัณฑ์

3.2 ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส จึงสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด

3.3 ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University