



นวัตกรรม อาหารกึ่งแห้ง

INTERMEDIATE MOISTURE
FOODS INNOVATION

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ วัชรินทร์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

นวัตกรรม อาหารกึ่งแห้ง

Intermediate Moisture Foods Innovation

ตัวอย่าง

ศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วรรณจารี
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คำนำ

หนังสือเล่มนี้ได้เรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของอาหารกึ่งแห้ง ตลอดจนแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งรวมทั้งการสร้างนวัตกรรมอาหารกึ่งแห้ง ปัจจุบันวิทยาการทางด้านเทคโนโลยีมีการแข่งขันค่อนข้างสูง ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมต่างก็เร่งวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตลาดต้องการ เพื่อให้เกิดการขยายตัวทางอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องและก้าวไกล มีการคิดค้นหานวัตกรรมใหม่ ๆ โดยเฉพาะนวัตกรรมผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ก่อให้เกิดสุขภาพที่ดีต่อผู้บริโภค และทำให้เพิ่มทั้งคุณค่าและมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมอาหารกึ่งแห้งจึงเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญในปัจจุบัน ดังนั้นการพัฒนาและสร้างนวัตกรรมผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งนี้จึงเป็นสิ่งที่น่าพิจารณา และน่าจะมีแนวโน้มที่ดีในอนาคต

นวัตกรรมที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งทั้งสูตรการผลิต และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัว ปลอดภัย และมีคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่และการเกิดฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของอาหารกึ่งแห้ง เพื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นเทคโนโลยีในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง หนังสือเล่มนี้พยายามที่จะร้อยเรียงเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการพัฒนาสร้างนวัตกรรมอาหารกึ่งแห้งที่สามารถขยายผลเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามที่ต้องการได้อย่างดี

จากความรู้ในหนังสือเล่มนี้ น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาทางด้านเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง ตลอดจนเป็นแนวทางในการศึกษา และปรับปรุงกิจการในอุตสาหกรรมอาหารกึ่งแห้งต่อไป

ศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วิริยจารี
สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2567

สารบัญ

คำนำ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูปภาพ	xvi
สารบัญตาราง	xxvi

บทที่ 1	ความเป็นมาของอาหารกึ่งแห้ง	1
1.1	ความหมายของอาหารกึ่งแห้ง	3
1.2	ประเภทของอาหารกึ่งแห้ง	6
1.2.1	อาหารกึ่งแห้งแบบดั้งเดิม	6
1.2.2	อาหารกึ่งแห้งแบบที่มีการพัฒนาใหม่	6

บทที่ 2	น้ำในอาหาร	17
2.1	สมบัติของน้ำทางด้านกายภาพ	18
2.2	โครงสร้างของโมเลกุลของน้ำ	18
2.3	ความหมายของน้ำที่เป็นประโยชน์	20
2.4	หลักการทางเทอร์โมไดนามิค	22
2.5	ไอโซเทอมการดูดซับน้ำ	34
2.6	รูปแบบของไอโซเทอมการดูดซับน้ำ	40
2.7	รูปแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของไอโซเทอมการดูดซับน้ำของของผสม	44
2.8	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในสภาพที่มีปริมาณความชื้นสูง (ช่วง C)	49
2.9	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารที่มีความชื้นต่ำ	61

บทที่ 3	การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้ง	67
3.1	อาหารกึ่งแห้งที่มีองค์ประกอบของน้ำมัน และไขมัน : การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันและไขมัน (lipid oxidation)	68
3.1.1	ประเภทของการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันและไขมันในอาหาร	70
3.1.2	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเติมออกซิเจนของน้ำมันและไขมัน ในอาหาร	70

3.1.2.1	ส่วนประกอบของน้ำมันและไขมันในอาหาร	70
3.1.2.2	ความร้อนและแสงสว่าง	73
3.1.2.3	โลหะ	74
3.1.2.4	เอนไซม์ไลโปอกซิเดส	75
3.1.2.5	ปริมาณออกซิเจนที่ไขมันดูดซับไว้ (oxygen absorption)	76
3.1.2.6	ความชื้น (moisture)	78
3.1.2.7	สารประกอบเฮมาติน (hematin compounds)	81
3.2	กลไกและโคเอนติคของการเติมออกซิเจนของน้ำมันและไขมัน	82
3.2.1	คำอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ของการเกิดออกซิเดชันน้ำมันและไขมัน	82
3.3	วิธีการควบคุมการเติมออกซิเจนของน้ำมันและไขมันในอาหาร	85
3.3.1	การใช้สารต้านออกซิเดชัน (antioxidants)	85
3.3.1.1	สารประเภทต้านออกซิเดชัน	85
3.3.1.2	สารออกฤทธิ์เสริม (synergist)	85
3.3.2	อิทธิพลอื่น ๆ	86
3.3.2.1	การทำไฮโดรจีเนชัน	86
3.3.2.2	การควบคุมอุณหภูมิต่ำ	87
3.3.2.3	การใช้เอนไซม์	87
3.3.2.4	การกำจัดอากาศ	87
3.3.2.5	สภาพการบรรจุหีบห่อ	88
3.3.2.6	การเก็บผลิตภัณฑ์ในสภาพที่มีความดันออกซิเจนที่ต่ำ	89
3.3.2.7	ความร้อน	89
3.3.2.8	การลดปริมาณของสารที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (prooxidant)	90
3.4	การวัดสถานะการเสื่อมเสียคุณภาพของไขมันโดยวิธีทางเคมี	90
3.4.1	การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)	90
3.4.2	การวัดค่าไทโอบาร์บิทูริก (TBA number; 2-thiobarbituric acid number)	92
3.4.3	การหาค่ากรดไขมันอิสระ (free fatty acid value)	94
3.4.4	วิธี Active oxygen method (AOM) หรือ Swift stability test	94
3.5	ความสำคัญทางชีวภาพของน้ำมันและไขมันที่เสื่อมคุณภาพ	96
3.5.1	การเกิดสารที่เป็นพิษ	96
3.5.2	การรักษาวิตามินในอาหาร	97

3.6	อาหารที่มีองค์ประกอบของสารประกอบโอลิโกเปปไทด์ที่เกิดจากโปรตีน (IM-food protein-derived oligopeptides)	97
3.7	สารประกอบเปปไทด์ที่เกิดจากอาหารโปรตีน (food protein-derived peptides)	99
3.8	กิจกรรมทางชีวภาพของสารประกอบเปปไทด์ที่เกิดจากอาหารโปรตีน	101
3.8.1	ผลการลดความดันโลหิตจากการต้านหรือยับยั้งเอนไซม์ (ACE inhibitory)	101
3.8.2	ผลออกฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน (antioxidative activity)	102
3.8.3	ผลออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ	103
3.9	การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction; MR)	104
3.9.1	บทบาทโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด	104
3.9.2	ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (non-enzymatic browning reaction (or) Maillard reaction; MR)	106
3.9.3	การเกิดกลิ่นรสตามธรรมชาติเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด	116
3.9.4	การเกิดกลิ่นจากเปปไทด์ที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด	118
3.10	ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและสารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด	120
3.11	การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด	126
3.12	บทบาทปฏิกิริยาเมลลาร์ดต่อการเกิดสารประกอบพันธะเชื่อม (conjugates) ที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties)	127
3.12.1	ความปลอดภัยของโปรตีนที่ถูกเชื่อมพันธะข้ามสายโมเลกุล (glycated proteins)	130
3.12.2	การนำปฏิกิริยาเมลลาร์ดมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร	131
3.12.3	ปฏิกิริยาเมลลาร์ดและสีในอาหาร	135
3.12.4	ปฏิกิริยาเมลลาร์ดและกลิ่นในอาหาร	136
3.12.5	ปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคุณค่าทางโภชนาการในอาหาร	137
3.12.6	สถานภาพปัจจุบันของปฏิกิริยาเมลลาร์ด	137
3.12.6.1	สารประกอบพันธะเชื่อม (conjugates) ต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในอาหาร	138
3.12.6.1.1	ปฏิกิริยาเมลลาร์ดในสภาวะการให้ความร้อนแบบแห้ง (dry heat method)	149

3.12.6.1.2	ปฏิกิริยาเมลลาร์ดในสภาวะการให้ความร้อนในสารละลาย (ปฏิกิริยาเมลลาร์ดแบบเปียก; wet method)	150
3.13	สมบัติพิเศษเชิงหน้าที่ของสารประกอบพันธะเชื่อมในอาหาร	151
3.14	การนำสารประกอบพันธะเชื่อมที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดมาใช้ประโยชน์ในอาหาร	155
3.14.1	สมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties)	156
3.14.1.1	สมบัติอิมัลชัน (emulsifying properties)	156
3.14.1.2	สมบัติการเกิดเจล (gelling properties)	158
3.14.1.3	สมบัติการเกิดโฟม (foaming properties)	159
3.14.1.4	สมบัติการคงทนต่อความร้อนและการละลาย (solubility and thermal stability)	161
3.15	สมบัติการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด	163
3.15.1	ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน	163
3.15.2	ความสามารถในการเป็น Angiotensin I-Converting Enzyme (ACE) Inhibitory Activity	164
3.16	การออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจากเพปไทด์ที่รับจากคอลลาเจน	165
3.17	ความสำคัญของโมเลกุลสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด	168
3.17.1	N ^ε fructoselysine(furosine; FL)	170
3.17.2	5-hydroxymethylfurfural (HMF)	171
3.17.3	Acrylamide	172
3.17.4	Heterocyclic amines (HCAs)	172
3.17.5	Advanced Glycation End products (AGEs)	173
3.17.6	Melanoidins	174
3.18	ผลกระทบต่อโภชนาการและสุขภาพของสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด	174
3.18.1	ผลที่ตามมาของปฏิกิริยาเมลลาร์ดในด้านโภชนาการ	174
3.18.2	ผลของสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดต่อสุขภาพ	176
3.18.2.1	ความเป็นพิษและสารก่อกำเนิดมะเร็ง	176
3.18.2.2	โรคที่เกิดจากความผิดปกติเมตาบอลิซึมและโรคหลอดเลือดหัวใจ	178

3.18.2.3	กิจกรรมต้านออกซิเดชัน ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และ ลดความดันโลหิต	179
3.19	สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และจุลินทรีย์ในลำไส้ / สารชีวโมเลกุลขนาดเล็ก	180
3.19.1	ปฏิกิริยาของจุลินทรีย์กับสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยา เมลลาร์ด	181
3.19.1.1	เมตาบอไลต์ของสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยา เมลลาร์ด	183
3.19.1.1.1	เมตาบอไลต์ของผลิตภัณฑ์ Amadori	183
3.19.1.1.2	เมตาบอไลต์ของสารประกอบที่เกิดจาก ปฏิกิริยาเมลลาร์ดขั้นสูง (ก่อนเกิด สารเมลานอยดิน)	184
3.19.1.1.3	เมตาบอไลต์ของสารเมลานอยดิน	184
3.19.2	ข้อจำกัดของความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของสารประกอบที่ เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดต่อจุลินทรีย์ในลำไส้	184
3.20	การออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบที่ระเหยได้ที่เกิดจาก ปฏิกิริยาเมลลาร์ดจากเปปไทด์ที่รับจากโปรตีนเนื้อสัตว์	187
3.20.1	สมบัติที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์	189
3.20.1.1	ปัจจัยที่ควบคุมประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของ สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด	192
3.20.1.2	กลไกการต้านจุลินทรีย์จากสารประกอบที่เกิดจาก ปฏิกิริยาเมลลาร์ด	194
3.21	สรุปและมุมมองในอนาคต	198
3.22	การดัดแปลงโมเลกุลโดยการเชื่อมพันธะ (grafting, conjugation or polymerization)	200
3.22.1	กลไกการเกิดสารประกอบพันธะเชื่อมระหว่างโปรตีนกับ โพลีฟีนอล (protein-polyphenol conjugates)	203
3.22.2	หลักการของกลไกการเกิดสารประกอบพันธะเชื่อม	206
3.22.2.1	สารประกอบพันธะเชื่อมระหว่างโปรตีนกับ โพลีฟีนอลในรูปแบบไม่ใช่ปฏิกิริยาสัมพันธ์โควาเลนต์	206
3.22.2.2	สารประกอบพันธะเชื่อมระหว่างโปรตีนกับ โพลีฟีนอลในรูปแบบปฏิกิริยาสัมพันธ์โควาเลนต์	207

3.22.3	ปัจจัยที่ผลกระทบต่อสารประกอบพันธะเชื่อมโปรตีน-โพลีฟีนอล	210
3.22.3.1	ปัจจัยภายนอก	210
3.22.3.2	ประเภทของโพลีฟีนอลและโปรตีน	211
3.22.4	สมบัติเชิงหน้าที่และการต้านออกซิเดชันของสารประกอบพันธะเชื่อมโปรตีน-โพลีฟีนอล	213
3.22.4.1	กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน (antioxidant activity)	213
3.22.4.2	การละลายและเสถียรภาพทางความร้อน (solubility and thermal stability)	215
3.22.4.3	สมบัติการเป็นอิมัลชัน	217
3.22.4.4	สมบัติการเกิดเจล	219
3.22.5	แนวโน้มการใช้ประโยชน์ของสารประกอบพันธะเชื่อมโปรตีน-โพลีฟีนอล	220
3.23	สารประกอบพันธะเชื่อม (conjugated covalent complexes) เกี่ยวข้องกับโปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และโพลีฟีนอล	225
3.23.1	กลไกการเชื่อมพันธะ (conjugation mechanisms)	226
3.23.2	สารตั้งต้น: โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และโพลีฟีนอล	228
3.23.3	สารประกอบพันธะเชื่อมโปรตีน-โพลีแซคคาไรด์ (protein-polysaccharide conjugates)	229
3.23.4	สารประกอบพันธะเชื่อมโปรตีน-โพลีฟีนอล (protein-polyphenol conjugates)	232
3.23.5	สารประกอบพันธะเชื่อมโพลีแซคคาไรด์-โพลีฟีนอล (polysaccharide-polyphenol conjugates)	235
3.23.6	สารประกอบพันธะเชื่อมโปรตีน-โพลีฟีนอล-โพลีแซคคาไรด์ (protein-polyphenol-polysaccharide conjugates)	238
3.23.7	ความซับซ้อนของปฏิกิริยาโควาเลนต์และแนวโน้มความเป็นพิษจากผลเกิดพันธะเชื่อม	242
3.23.8	ลักษณะของสารประกอบพันธะเชื่อม	242
3.23.8.1	วิธีทางอิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis)	243
3.23.8.2	วิธีคาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (capillary electrophoresis; CE)	243
3.23.8.3	วิธีแมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry; MS)	243
3.23.8.4	Size-exclusion Chromatography (SEC)	244

3.23.8.5	Light scattering	245
3.23.8.6	เทคนิคอื่น ๆ ที่มีความเป็นไปได้	246
3.23.9	ศักยภาพการมีประโยชน์ของสารประกอบพันธะเชื่อม	246
3.23.9.1	การละลาย (solubility)	246
3.23.9.2	การต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant activity)	248
3.23.9.3	เสถียรภาพต่อความร้อน (thermal stability)	249
3.23.9.4	สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifying properties)	249
3.24.9.5	สมบัติการเกิดโฟม (foaming properties)	250
3.23.9.6	สมบัติการเกิดเจล (gelling properties)	251
3.23.10	การเกิดและสมบัติของสารประกอบพันธะเชื่อมบนพื้นฐานของระบบการนำส่งสารสำคัญ	252
3.23.10.1	อิมัลชัน และนาโนอิมัลชัน	253
3.23.10.2	ไฮโดรเจล	254
3.23.10.3	โพลิเมอร์ชีวภาพ อนุภาคนาโน	254
3.23.11	ลักษณะปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระบบการนำส่งสารสำคัญ	255
3.23.12	ข้อสังเกตและมุมมองในอนาคต	258
3.24	ข้อดีจากผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแข็ง	258
3.25	ข้อดีจากผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแข็ง	259

บทที่ 4

การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของอาหารกึ่งแข็ง	261
4.1 ความทนทานของจุลินทรีย์กับน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารกึ่งแข็ง	262
4.2 การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแข็งเนื่องมาจากแบคทีเรีย	265
4.3 การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแข็งเนื่องมาจากเชื้อรา	271
4.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของเชื้อราในอาหารกึ่งแข็ง	271
4.4 ความยากต่อการคาดคะเนอายุการเก็บรักษาที่ปราศจากเชื้อรา	274
4.5 แนวโน้มการเกิดสารพิษจากเชื้อราในอาหารกึ่งแข็ง	276
4.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของเชื้อราที่สร้างสารพิษ	277
4.6 การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแข็งเนื่องมาจากเชื้อยีสต์	280
4.6.1 วิธีการควบคุม Osmophilic yeasts	282
4.7 สรุปจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียและสามารถผลิตสารพิษ ในอาหารกึ่งแข็ง	284

4.8 ความซับซ้อนของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออาหารกึ่งแห้ง	285
4.9 ข้อเสนอแนะในการผลิตและการเก็บรักษาอาหารกึ่งแห้ง	288
4.10 การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยการลดค่า Water activity ของอาหาร	288
4.10.1 อาหารประเภทธัญชาติ นัท และเครื่องเทศ	291
4.10.1.1 กลุ่มเมล็ดข้าวสาลี	291
4.10.1.2 กลุ่มเมล็ดข้าว	291
4.10.1.3 กลุ่มข้าวบาเลย์	292
4.10.1.4 กลุ่มเมล็ดข้าวโพด	292
4.10.1.5 กลุ่มนัท	292
4.10.1.6 กลุ่มเครื่องเทศ	293
4.10.2 อาหารประเภทผลไม้แห้งและอาหารหวาน	294
4.10.2.1 แยม	294
4.10.2.2 ผลไม้แห้ง	294
4.10.2.3 ขนมหวาน	295
4.10.2.4 น้ำผลไม้เข้มข้น น้ำเชื่อม น้ำผึ้ง และน้ำเกลือ	295
4.10.3 ผลิตภัณฑ์เนื้อแห้ง	295
4.10.4 ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแห้ง	297
4.11 ปัจจัยที่มีผลต่อเชื้อราและยีสต์ในอาหารกึ่งแห้ง	298
4.12 การป้องกันการเสื่อมเสียของ Xerophilic fungi ในอาหารกึ่งแห้ง	302

บทที่ 5

นวัตกรรมอาหารกึ่งแห้ง	303
5.1 ลักษณะของอาหารกึ่งแห้ง (characterization of intermediate moisture foods)	303
5.2 การพัฒนาสูตรการผลิตอาหารกึ่งแห้ง	304
5.2.1 พัฒนาการใช้สารฮิวเมกเตนที่ในการช่วยลดน้ำที่เป็นประโยชน์ในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง	305
5.2.2 พัฒนาการใช้ Surface active agent ในการช่วยลดน้ำที่เป็นประโยชน์ในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง	308
5.2.3 พัฒนาการใช้ Antimicrobial food additives ในอาหารกึ่งแห้ง	309
5.3 การพัฒนากระบวนการผลิตอาหารกึ่งแห้ง	311
5.3.1 การใช้เทคนิค Adsorption เพื่อลดปริมาณน้ำในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง	311

5.3.2 ระบบการทำแห้ง	312
5.3.2.1 การเคลื่อนที่ของน้ำ (moisture movement) ในอาหาร	312
5.3.2.2 ปัจจัยควบคุม	313
5.3.2.3 อัตราการทำแห้ง (drying rate)	314
5.3.2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง	316
5.3.2.5 ขั้นตอนแรกของการทำแห้ง Constant rate phase dehydration	317
5.3.2.6 ขั้นตอนของการทำแห้ง Falling rate phase dehydration	320
5.3.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำในช่วง Falling rate phase ในการทำแห้ง	320
5.3.2.8 การคำนวณเวลาในการทำแห้งในช่วง Constant rate period	321
5.3.2.9 การคาดคะเนของเวลาในการทำแห้งจากข้อมูล Drying rate	322
5.3.3 การพัฒนากระบวนการผลิต	326
5.3.4 เทคโนโลยีกระบวนการผลิตโดยวิธีการแทรกซึมภายใต้ สุญญากาศ (vacuum impregnation; VI)	332
5.3.4.1 ทฤษฎีพื้นฐานและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง	334
5.3.4.2 รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการแทรกซึมภายใต้ สุญญากาศและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง	340
5.3.4.3 การเปลี่ยนแปลงของแก๊ส ของเหลวและปริมาตรเมตริก ของแข็งระหว่างการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ	345
5.3.4.4 ตัวแปรกระบวนการ	348
5.3.4.4.1 ปัจจัยภายนอก	348
5.3.4.4.2 ตัวแปรภายใน	355
5.3.4.5 การนำไปใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม	359
5.3.4.6 เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ: วิธีเพิ่ม อัตราการถ่ายโอนมวลสารของอาหารระหว่าง กระบวนการผลิตอาหาร	361
5.3.4.7 การใช้เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ในการปรับปรุงคุณภาพอาหาร	364

5.3.5 ตัวอย่างนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ผลไม้กึ่งแห้งที่มีน้ำตาลต่ำและ ผลิตภัณฑ์ผักกึ่งแห้งที่มีเกลือต่ำ: แนวทางในการพัฒนา ผลิตภัณฑ์ผักผลไม้กึ่งแห้งรูปแบบแห้ง	372
5.3.6 ตัวอย่างนวัตกรรมกระบวนการและการเก็บรักษาผลไม้กึ่งแห้ง (intermediate moisture persimmon; Diospyros kaki Linn., Variety ANG SAI and NIU SCIN)	376
5.3.7 ตัวอย่างนวัตกรรมสูตรและกระบวนการผลิตลำไยกึ่งแห้ง (IM-Longan)	382
5.3.7.1 การศึกษาด้านการเกิดสีน้ำตาลเพื่อทดแทนการใช้ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยกึ่งแห้ง	383
5.3.7.2 การศึกษาระบบออสโมติกในการผลิตลำไยกึ่งแห้ง	383
5.3.7.3 การศึกษากระบวนการทำแห้งในการผลิตลำไยกึ่งแห้ง	384
5.3.7.4 การศึกษาการแปรรูปลำไยกึ่งแห้งในรูปแบบใหม่ ๆ	385
5.3.7.5 แนวทางการวิจัยพัฒนาลำไยกึ่งแห้งในอนาคต	385
5.3.7.6 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพร่วมกับ เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศสำหรับ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ลำไยกึ่งแห้ง	387
5.3.7.7 การประยุกต์ใช้กระบวนการแช่ในระบบสารละลาย ออสโมติกร่วมกับเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้ สุญญากาศสำหรับนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ลำไยกึ่งแห้ง	391
5.3.7.8 การประยุกต์ใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัสสำหรับ นวัตกรรมลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยกึ่งแห้ง	394
5.3.8 ตัวอย่างนวัตกรรมผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งชนิดนุ่ม	398
5.3.8.1 กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศของสารละลาย ออสโมติกที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ลำไยแช่เยือกแข็ง ชนิดนุ่ม	400
5.3.9 แนวทางการใช้ Edible protective superficial layers ในการป้องกันอาหารกึ่งแห้ง	415
การนำมาใช้ประโยชน์ในการหาวิธีการป้องกันผลไม้กึ่งแห้ง	415
5.3.9.1 การควบคุมความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวอาหาร	422
5.3.9.2 การควบคุมความเข้มข้นของสารกันเชื้อราที่ผิวอาหาร	422
5.3.9.3 การควบคุมความเข้มข้นของสารกันออกซิเจนที่ผิวอาหาร	425

5.3.10 การป้องกันเฉพาะของผลไม้กึ่งแห้ง	426
5.3.11 การสร้างแบบจำลองอาหารกึ่งแห้งเพื่อสุขภาพ	432

บทที่ 6

ความคงตัวต่อการเก็บรักษาของอาหารกึ่งแห้ง 435

6.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของอาหารกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา	435
6.2 การประกันคุณภาพของอาหารกึ่งแห้ง	438
6.3 ข้อเสนอแนะของข้อกำหนดจำเพาะของอาหารกึ่งแห้งดัชนีการตัดสินใจ	439
6.4 การทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์	440
6.4.1 ฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่คงคุณภาพในช่วงเวลาที่ทดสอบ (hazard function)	442
6.4.2 รูปแบบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์	445
6.4.2.1 การกระจายปกติ	446
6.4.2.2 การกระจายแบบ Lognormal	450
6.4.2.3 การกระจายแบบ Weibull	451
6.4.3 การทดสอบทางกราฟสำหรับการกระจายตัวของการสูญเสียสภาพ	460
6.5 การวิเคราะห์สมการถดถอย	463
6.5.1 ช่วงความเชื่อมั่น (confidence intervals)	472
6.6 ความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้นตรง (nonlinear relationships)	477

บทที่ 7

กรณีศึกษา การพัฒนาอาหารกึ่งแห้ง 481

7.1 กรณีศึกษาที่ 1 การหาความชื้นและประมาณค่า Water activity ของอาหาร	481
7.2 กรณีศึกษาที่ 2 การวัดค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหาร	484
7.3 กรณีศึกษาที่ 3 การหา Water sorption isotherms ของอาหาร	496
7.4 กรณีศึกษาที่ 4 การศึกษาหาค่าคงที่ (K) ในรูปแบบพหุนามทางคณิตศาสตร์ของ Water sorption isotherms ของอาหารที่มีความชื้นสูง	499
7.5 กรณีศึกษาที่ 5 การศึกษารูปแบบพหุนามทางคณิตศาสตร์ของ Water sorption isotherms ของอาหาร	502
7.6 กรณีศึกษาที่ 6 การประยุกต์รูปแบบพหุนามทางคณิตศาสตร์ของ Water sorption isotherm ของของผสม	504
7.7 กรณีศึกษาที่ 7 การประยุกต์เทคนิค Adsorption โดยการลดปริมาณน้ำในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง	506

7.8	กรณีศึกษาที่ 8 การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยการลดค่า Water activity ของอาหาร	508
7.9	กรณีศึกษาที่ 9 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแห้ง (IM-Meat)	510
7.10	กรณีศึกษาที่ 10 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กึ่งแห้ง	518
7.11	กรณีศึกษาที่ 11 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ Softly Frozen Products	522
7.12	กรณีศึกษาที่ 12 การพัฒนาผลิตภัณฑ์มูสลี่ผสมและบาร์	528
7.13	กรณีศึกษาที่ 13 การพัฒนาผลิตภัณฑ์วุ้นอบกรอบไส้ถั่วอาซูกิ	532
7.14	กรณีศึกษาที่ 14 แนวทางการใช้ Edible protective superficial layers ในการป้องกันผลไม้กึ่งแห้ง: นวัตกรรมผลไม้กึ่งแห้ง	536
7.15	กรณีศึกษาที่ 15 นวัตกรรมผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งชนิดนุ่มแบบแห้ง	542
เอกสารอ้างอิง		547

ความเป็นมา ของอาหารกึ่งแห้ง

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการอาหารสำเร็จรูปที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีการเสื่อมเสียได้ยากทั้งในแง่การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ และทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์สามารถถึงผู้บริโภคได้อย่างปลอดภัยในสภาวะการขนส่งและวางจำหน่ายที่ดี การขยายตัวอย่างรวดเร็วในอุตสาหกรรมแช่เยือกแข็งอาจเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ตอบโจทย์ประเด็นดังกล่าวได้อย่างดี แต่ก็มีข้อจำกัดในความสำเร็จของเทคโนโลยีดังกล่าว ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบการเก็บที่อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมและระบบห่วงโซ่ของการกระจายผลิตภัณฑ์ในสภาวะแช่เย็น

อาหารแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เบาและเก็บรักษาได้นาน และมีความสะดวกในการขนส่งและจำหน่ายโดยสามารถใช้ช่องทางการเก็บรักษาปกติ ไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่ดีในการนำเทคโนโลยีการทำแห้งมาใช้ประโยชน์เพื่อการแปรรูปอาหารได้อย่างดี

การทำแห้งหรือการดึงเอาน้ำออกจากอาหารเป็นวิธีการแปรรูปอาหารวิธีหนึ่งที่สามารถกระทำได้ง่าย และเป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุด ซึ่งมนุษย์ได้เรียนรู้มาจากธรรมชาติโดยสังเกตจากเมล็ดพืชที่สามารถเก็บได้นานเป็นปี ถ้าให้ผลผลิตเหล่านี้แก่เต็มที่หรือแห้งคาต้น แต่ถ้าเก็บเกี่ยวก่อนเวลาอันควร ผลผลิตดังกล่าวจะเน่าเสียได้ง่าย จึงทำให้ทราบว่าถ้าเก็บผลผลิตดังกล่าวในสภาพที่แห้งโดยการนำมาผึ่งแดดเสียก่อนจะเก็บได้นาน ซึ่งวิธีการทำให้แห้งโดยอาศัยธรรมชาตินี้ไม่มีเทคนิคหรือหลักวิชาการเข้ามาเกี่ยวข้องเลย ความชื้นที่ระเหยออกมาจากอาหารจะเพียงพอต่อการป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและความชำนาญของผู้กระทำ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปวัตถุดิบทางการเกษตรจะมีสารประกอบและโครงสร้างของเซลล์ที่ซับซ้อน ซึ่งไม่เหมือนกับน้ำตาลหรือเจลาตินที่สามารถคืนรูปได้อย่างสมบูรณ์เมื่อมีการเติมน้ำผสมลงไป ขึ้นของผักสดที่ปราศจากการแปรรูป เบื้องต้นและทำการอบแห้งโดยการใช้อากาศร้อนจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แห้ง ปรากฏว่ามีการคืนตัวที่ไม่เหมือนวัตถุดิบเริ่มต้น แม้ว่าจะนำไปต้มเดือดก็ไม่ประสบผลสำเร็จในการคืนรูปให้เหมือนผักสดต้มได้ แต่คงความเหนียวของเส้นใยผัก ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการลวกในน้ำเดือดก่อนนำไปทำแห้ง ซึ่งการลวกเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารแห้งได้โดยจะไปทำลายเอนไซม์ และปรับปรุงความคงตัวของอาหารแห้งในระหว่างการเก็บรักษา และการคืนตัวของโครงสร้างเมื่อทำการ

ต้มดีพอ ๆ กับการต้มผักสดโดยตรง ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงวิธีการทางเทคโนโลยีให้ดีขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เวลาในการทำแห้งน้อยลง และวิธีการใหม่ ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงนี้ช่วยทำให้อาหารมีคุณภาพดีขึ้น สามารถเก็บรักษาได้นานโดยยังคงมีสภาพที่ดี

อาหารแห้ง (dehydrated foods) ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมอาหาร โดยมีหลักการที่ว่า เพื่อลดปริมาณความชื้นในอาหารให้ลดลงทำให้น้ำหนักเบา ขนส่งสะดวก อีกทั้งมีความสะดวกต่อการบรรจุ แต่วิธีนี้อาจมีข้อเสียถ้ามีการควบคุมวิธีการไม่ดีพอกล่าวคืออาจทำให้อาหารกรอบ เปราะง่าย ขนาดเปลี่ยนไป คุณค่าอาหารลดลง และเมื่อทำให้ขึ้นรูปจะไม่คืนสู่สภาพเดิม ยกเว้นกรณีการทำแห้งด้วยวิธีที่เรียกว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dehydration) (Gould, 1995; Potter and Hotchkiss, 1998; Russell and Gould, 2003; Rajarathnam and Ramteke, 2011; Bawa et al., 2013; Vaclavik and Christian, 2014)

ปัจจุบันแทนที่จะพยายามทำให้ผลิตภัณฑ์คงทน โดยการนำน้ำออกให้มากด้วยการทำแห้ง ก็ได้มีการปรับปรุงเทคโนโลยีให้ดีขึ้นโดยการพยายามนำน้ำออกจำนวนหนึ่งในปริมาณที่ทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียไม่สามารถเติบโตได้ ได้เริ่มมีการนำสารที่เรียกว่าสารอิมเมกเตนซ์ (humectants) เป็นสารที่สามารถลดและรักษาความชื้นได้ดี ตัวอย่างของสารอิมเมกเตนซ์ที่ใช้ในอาหารเพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหารรวมทั้งรักษาความชื้น ได้แก่ เช่น กลีเซอรอล (glycerol) น้ำตาลฟรุกโตส (fructose) น้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) เช่น ซอร์บิทอล (sorbitol) รวมทั้งสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เป็นต้น วิธีการดังกล่าวทำให้ได้ประเภทของอาหารที่แตกต่างกันออกมา มีคุณภาพดีขึ้น รวมทั้งมีการเก็บรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดีได้นานขึ้น อาหารประเภทดังกล่าวเรียกว่า อาหารหมาดหรืออาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Foods; IMF) ตัวอย่างเช่น เนยแข็ง แยม ลูกกวาดและอาหารสัตว์เลี้ยง เป็นต้น อาหารดังกล่าวได้รับการสนใจอย่างจริงจังในปัจจุบัน และได้มีการนำหลักการนี้มาใช้ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรูปแบบใหม่ และน่าสนใจมากขึ้นเช่นผู้ประกอบการผลิตลูกกวาดทั้งแบบแข็งและแบบนุ่มได้เริ่มมีการพัฒนา ด้วยหลักการดังกล่าวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสที่แปลก เช่น ขนมหวานลักษณะนุ่มนิ่มเคี้ยวหนึบ ๆ (marshmallow) ตังเม (nougat) ขนมหวานที่ทำด้วยน้ำตาล เนย นม ช็อกโกแลต และส่วนผสมอื่น ๆ (fudge) ทอฟฟี่ ลูกอม ลูกกวาด (toffee) และช็อกโกแลต (chocolate) เป็นต้น (Davies et al., 1976; Gould, 1995; Bawa et al., 2013)

แม้ว่าการนำหลักการนี้ไปใช้ในอาหารสัตว์เลี้ยงเพื่อการค้าประสบความสำเร็จในยุโรปและในอเมริกาก็ตาม แต่การนำหลักการนี้โดยการนำสารอิมเมกเตนซ์เข้ามาใช้ในผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเพื่อการบริโภคของมนุษย์ ดูเหมือนว่าผู้บริโภคส่วนมากให้ความสนใจน้อย เนื่องจากไม่แน่ใจในความปลอดภัยของสารอิมเมกเตนซ์ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ปราศจากกลิ่นรสชาติที่ต้องการ รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการด้วย อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาวิธีการต่าง ๆ มาปรับใช้ ด้วยจุดประสงค์ที่ต้องการให้อาหารหรือผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีการยอมรับที่ดีขึ้นทั้งในแง่ สีที่ปรากฏ กลิ่น รสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัส มีความปลอดภัยสูง และไม่ทำลายคุณค่าทางโภชนาการมากนัก ตลอดจนมีอายุการเก็บรักษาที่นาน

อาหารส่วนใหญ่มักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางจุลินทรีย์ แต่การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีมักจะทำให้อาหารมีคุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีเปลี่ยนไปเท่านั้น การให้โทษแก่นมนุษย์ค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์มีความสำคัญในแง่ที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็วและเห็นได้ชัดเจน อีกทั้งก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้อีกด้วย เนื่องจากการที่จุลินทรีย์ดังกล่าวอาจจะมีการสร้างสารพิษได้ การป้องกันการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงอย่างมากในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง เพื่อมุ่งแก้ปัญหาข้างต้นนี้จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาหาวิธีการใหม่ ๆ มาปรับใช้ โดยการนำสารเคมีต่าง ๆ มาใช้เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น ได้มีการนำสารฮิวเมกเตนที่มีสมบัติทั้งในแง่ช่วยลดปริมาณน้ำในอาหาร และช่วยป้องกันการเติบโตของจุลินทรีย์มาใช้ในสูตรการผลิตอาหารกึ่งแห้ง ซึ่งนับว่าเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีของการผลิตอาหารกึ่งแห้งและสร้างนวัตกรรมอาหารกึ่งแห้งออกไปอีกระดับหนึ่ง (Barbosa-Canovas and Gould; 2000)

ในอดีตการแปรรูปอาหารเพื่อต้องการเก็บรักษาอาหารให้นานขึ้น มักจะใช้เกลือหรือน้ำตาลในปริมาณที่สูงเพื่อป้องกันการเป็นพิษและการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ การใช้เกลือหรือน้ำตาลในปริมาณสูงจะทำให้เสียลักษณะอาหารที่ผู้บริโภคยอมรับไป เช่น มีรสเค็มหรือหวานจัดจนไม่น่ารับประทาน และอาจจะมีผลต่อสุขภาพในเชิงลบต่อผู้บริโภคได้ งานวิจัยและพัฒนาในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาหาสารฮิวเมกเตนอื่น ๆ มาใช้เพื่อช่วยลดต้นทุนหรือความไม่ต้องการดังกล่าวลง จึงเกิดการปรับปรุงเทคโนโลยีต่าง ๆ มากมายในปัจจุบัน

1.1 ความหมายของอาหารกึ่งแห้ง

อาหารโดยทั่วไปประกอบด้วยความชื้นประมาณร้อยละ 20-50 โดยน้ำหนัก และมีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์หรือค่าน้ำอิสระ (water activity; A_w) ในช่วง 0.95-1.00 เช่น เนื้อสด ปลาสด กุ้ง ปู ไข่ ผักผลไม้ นม เนยสด มากา린 ขนมอบี เค้ก ไส้กรอก และแฮม เป็นต้น อาหารดังกล่าวมีปริมาณน้ำที่สูงและมีสารถูกละลาย (solute) ไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ถ้าหากสารถูกละลายเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ทำให้ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเติบโตได้ ก็จะทำให้อาหารสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น การเสื่อมเสียจะลดลง ความปลอดภัยจะมากขึ้น ลักษณะบางประการ เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารยังคงมีอยู่ (Barbosa-Canovas et al., 2007)

อาหารที่ลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ลงจนอยู่ในช่วง 0.65-0.85 หรือมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ร้อยละ 65-85 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 15-30 มักเรียกออาหารประเภทนี้ว่าอาหารหมาด หรืออาหารกึ่งแห้ง หรือ Intermediate Moisture Foods เช่น กุนเชียง เนยแข็งบ่ม แยมกึ่งแห้ง ฟรุสเค้ก แยม เพส ผักผลไม้กึ่งแห้ง ลูกกวาด รวมทั้งอาหารสัตว์เลี้ยง เป็นต้น (Davies et al., 1976)

การจำแนกประเภทของอาหารโดยใช้ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์เป็นเครื่องวัด (ตารางที่ 1.1) สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

(ก) อาหารที่มีปริมาณความชื้นหรือน้ำที่เป็นประโยชน์มากหรือ High Moisture Foods (HMF) เป็นอาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.85-1.00

(ข) อาหารที่มีปริมาณความชื้นหรือน้ำที่เป็นประโยชน์ปานกลางหรือ Intermediate Moisture Foods (IMF) เป็นอาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.65-0.85

(ค) อาหารที่มีปริมาณความชื้นหรือน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำหรือ Low Moisture Foods (LMF) เป็นอาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.01-0.65

ตารางที่ 1.1 ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารในสารละลายเกลือและสารละลายน้ำตาล

ประเภทอาหาร	A _w	เกลือแกง (ร้อยละ)	ซูโครส (ร้อยละ)	ตัวอย่าง
HMF (High Moisture Foods)	0.95-1.00	0-8	0-44	อาหารสด เนื้อ ปลา ไก่ ไข่ ผักผลไม้ อาหาร กระป๋องประเภทผลไม้ในน้ำเชื่อม ผักใน น้ำเกลือ ไส้กรอก เนยเหลว
	0.90-0.95	8-14	44-59	เนยแข็ง ขนมอบ แยมดิบ น้ำส้มเข้มข้น
IMF (Intermediate Moisture Foods)	0.80-0.90	14-19	59-อิ่มตัว (A _w 0.86)	เนยเค็ม นมข้นหวาน แยม ลูกกวาด
	0.70-0.80	19-อิ่มตัว (A _w 0.75)	-	กากน้ำตาล ปลาเค็ม
	0.60-0.70	-	-	ผลไม้แห้ง น้ำเชื่อม
LMF (Low Moisture Foods)	0.50-0.60	-	-	ซีอิ๊วเกลือ น้ำผึ้ง ขนมน้ำตาล ก๋วยเตี๋ยว
	0.40	-	-	ไข่ผง โกโก้
	0.30	-	-	เค้กผสม ขนมนึ่งกรอบ
	0.20	-	-	นมผง ผักแห้ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Troller and Christian (1978); Troller (1980)

อาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่มีปริมาณความชื้นระหว่างอาหารแห้ง (สามารถเก็บที่อุณหภูมิห้อง) กับอาหารที่มีความชื้นสูง (จำเป็นต้องแช่เยือกแข็ง แช่เย็น บรรจุกระป๋อง หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในลักษณะต่าง ๆ) อย่างไรก็ตาม อาหารกึ่งแห้งมักให้นิยามที่ชัดเจนบนพื้นฐานปริมาณน้ำหรือค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ เช่น อาหารกึ่งแห้งแบบดั้งเดิมมักจะมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10-40 และมีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ 0.65-0.90 (Karel, 1976) ส่วน Corry (1976) ได้แสดงช่วงของค่าน้ำที่เป็น

ประโยชน์ของอาหารกึ่งแห้งที่ต่างกันจากรายงานของนักวิทยาศาสตร์รายอื่น ๆ เช่น มีช่วงตั้งแต่ 0.70-0.85 (Brockmann,1970), 0.60-0.85 (Plitman et al., 1973), 0.70-0.90 (Karel, 1973) และ 0.60-0.90 (Collins et al.,1972) เป็นต้น ด้วยเหตุผลว่าอาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ที่ต่ำกว่า 0.70 จะมีความคงตัวจากการเสื่อมเสียด้วยเชื้อจุลินทรีย์และสามารถจำแนกได้เป็นอาหารแห้งและอาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ประมาณ 0.90 หรือต่ำกว่าจะไม่เอื้อให้แบคทีเรียส่วนใหญ่เติบโตและสร้างสารพิษ

Kaplow (1970) ได้นิยามอาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่สามารถรับประทานได้โดยไม่ต้องคั้นรูปและมีความคงตัวจากการเก็บโดยปราศจากการเก็บในตู้เย็นหรือผ่านกระบวนการให้ความร้อน อย่างไรก็ตาม ในส่วนการพัฒนาอาหารกึ่งแห้งนั้นมักจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ลดความเสี่ยงจากการเสื่อมเสียจากการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมี และจุลินทรีย์ ปรับปรุงความปลอดภัย เพิ่มอายุการเก็บรักษาและคงรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มของผลิตภัณฑ์ การลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงตัวโดยปราศจากการเก็บในตู้เย็นหรือที่อุณหภูมิต่ำ

การดัดแปลงอาหารเพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาได้รับการพิจารณาอย่างมากในปัจจุบัน การแปรรูปอาหารบนพื้นฐานการลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเติบโตของจุลินทรีย์ หรือลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์โดยการตากแดดหรือใช้เกลือแกงร่วมเป็นบริบทแรก ๆ ที่มนุษย์รู้จักวิธีการรักษาสภาพของอาหารให้อยู่ได้นานขึ้นโดยเฉพาะการใช้เกลือแกงและน้ำตาลมีประวัติการใช้มาตั้งแต่อดีต อย่างไรก็ตาม ความเข้าใจในความสำคัญของค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในการแปรรูปอาหารได้รับความสนใจตั้งแต่ปี 1957 (Scott, 1957) และมีรายงานมากมายในเรื่องค่าน้ำที่เป็นประโยชน์และการดัดแปลงค่าดังกล่าวในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Brockmann, 1970.; Collins et al., 1972; Corry, 1976; Flink, 1977; Karel, 1973, 1976; Labuza, 1980; Lang and Steinberg, 1980; Plitman et al., 1973; Scott, 1957; Sloan and Lebuza, 1975; Erickson, 1982; Seow et al., 1988; Raoult-Wack, 1994; Alzamora et al., 2000, Barbosa-Cánovas et al., 2020)

อาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลางซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเติบโตได้แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ที่อาจจะเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีส่วนใหญ่ที่อาจจะเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ในระหว่างการเก็บรักษาคือ การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันและไขมัน (lipid oxidation) การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ตลอดจนอาจเกิดการสูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำได้ (Iqbal and Mido, 2005; Kan and Chen, 2021)

การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งมีวัตถุประสงค์ใหญ่เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานมากที่สุดเท่าที่สามารถจะกระทำได้ โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์ ซึ่งบางครั้งจะไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันและไขมัน การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ถ้าหากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถูกผลิตขึ้นเพื่อเป็นอาหารสัตว์เลี้ยง แต่ถ้าหากมีการ

ผลิตเพื่อมนุษยบริโภคก็ควรคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวข้างต้นด้วย เพราะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

1.2 ประเภทของอาหารกึ่งแห้ง

อาหารกึ่งแห้งอาจจะแบ่งออกได้ตามลักษณะของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนี้

- อาหารกึ่งแห้งแบบดั้งเดิม (traditional types of intermediate moisture foods)
- อาหารกึ่งแห้งแบบที่มีการพัฒนาใหม่ (modern types of intermediate moisture foods or newly developed intermediate moisture foods)

1.2.1 อาหารกึ่งแห้งแบบดั้งเดิม (traditional types of intermediate moisture foods)

เมื่อแรกเริ่มมนุษยมีความพยายามในการที่จะแปรรูปอาหารโดยการตากแห้ง มีการนำมามากแดดเพื่อให้ความชื้นลดลง ทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ความคิดนี้ก็ได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยการหาวิธีการใดก็ตามมาใช้เพื่อที่จะนำน้ำออกจากอาหารให้เหมาะสมต่อการคงทนของเชื้อจุลินทรีย์ จึงได้มีการนำสารถูกละลายหรือ Solute หรือ ออออน มารวมตัวกับน้ำเพื่อดึงน้ำออกจากอาหาร เช่น การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในน้ำโดยการเติมเกลือหรือน้ำตาล ทำให้อาหารมีปริมาณน้ำลดลง จุลินทรีย์ก็ไม่สามารถจะใช้น้ำได้ นอกจากนี้สารถูกละลายดังกล่าวยังสามารถดึงน้ำออกจากเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย ทำให้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดการเหี่ยวและอาจจะพิการ และตายในที่สุด ได้เริ่มมีการใช้น้ำตาลในผลิตภัณฑ์ประเภทแยม (jams) ผลไม้หวาน (candied fruits) ขนมหวาน (soft confectionery) และเจลลี่ (jellies) เป็นต้น ต่อมาได้มีการใช้เกลือในผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ ปลา และไส้กรอก จนกระทั่งได้มีการนำทั้งน้ำตาลและเกลือมาใช้ร่วมกันในผลิตภัณฑ์แฮมหรือขาหมูหมักเกลือและน้ำตาล (sweet salted cured ham) และเนือบดผสมผลไม้ตากแห้งให้พอนิมที่เรียกว่า Pemmican เป็นต้น

การพัฒนาอาหารประเภทนี้ในระยะแรก ๆ มักจะคำนึงถึงการเก็บรักษาอาหารให้ปลอดภัยเพื่อหลีกเลี่ยงการที่จะต้องทิ้งอาหารที่มากเกินไปในฤดูกาล กล่าวคือเพียงเพื่อต้องการเก็บรักษาอาหารไว้บริโภคนอกฤดูกาลนั่นเอง

1.2.2 อาหารกึ่งแห้งแบบที่มีการพัฒนาใหม่ (modern types of intermediate moisture foods or newly developed intermediate moisture foods)

เนื่องจากปัจจุบันประชากรเพิ่มขึ้นมากมาย ความต้องการอาหารก็มีมากขึ้น อาหารมีปริมาณไม่เพียงพอ อีกทั้งค่าครองชีพปัจจุบันมีความผันแปรมาก ความต้องการอาหารที่มีคุณค่าสามารถเก็บ

ได้นานโดยไม่เสื่อมเสียก็มีมากขึ้น จึงก่อให้เกิดการพัฒนาเทคนิค และหลักวิชาการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น เพื่อที่จะนำน้ำออกจากอาหาร ให้มีปริมาณน้ำในอาหารที่ต่ำลง ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเติบโตได้ นับตั้งแต่การสร้างเครื่องทำแห้ง (dryer) แต่ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาก้าวไกลไปอีกระดับหนึ่ง เนื่องจากความไม่เหมาะสมต่อการลดความชื้นโดยใช้เครื่องทำแห้งในแง่คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบเปราะ แตกง่าย และขนาดเปลี่ยนไป จึงได้มีการคิดค้นหาสารชีวเมกเทนท์เพื่อลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยอาศัยวิธีการบนพื้นฐาน 2 วิธี คือ (1) การคายความชื้นจากวัตถุดิบ (desorption) และ (2) การดูดซับสารละลาย หรือสารแขวนลอย (adsorption) ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

การพัฒนาอาหารกึ่งแห้งต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อให้ได้อาหารที่มีกลิ่นรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสที่แปลกใหม่ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ แยมผลไม้สด เป็นต้น

อาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่เริ่มให้ความสนใจในปัจจุบัน โดยเฉพาะอาหารกึ่งแห้งแบบที่มีการพัฒนาใหม่ได้อาศัยหลักการดังต่อไปนี้คือ

- การลดปริมาณความชื้นให้ต่ำหรือลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ให้ต่ำลงโดยการใช้สารประกอบประเภทสารชีวเมกเทนท์ช่วย
- การเติมสารยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียที่มีต่ออาหาร โดยพยายามเน้นไปที่สารอินทรีย์ตามธรรมชาติ
- การเติมสารเคมีบางประเภทลงไปเพื่อปรับปรุงความคงทน และสมบัติทางด้านกลิ่นรสชาติของอาหาร

งานวิจัยและคิดค้นด้านนี้จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาอาหารประเภทอาหารกึ่งแห้ง ซึ่งสามารถให้รายละเอียด เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาารูปแบบของเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง ได้ดังนี้

- หลักการของการพัฒนาการผลิตอาหารกึ่งแห้งคือการพยายามลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์โดยการเติมสารที่เป็นตัวถูกละลายที่ง่าย สะดวกต่อการจัดหา
- พยายามพัฒนาสูตรการผลิตโดยการหาสารชีวเมกเทนท์ใหม่ ๆ และเหมาะสมมาทำการผลิตอาหารกึ่งแห้ง อาจจะทำการผสมสารชีวเมกเทนท์ 2 ชนิดหรือมากกว่าโดยต้องคำนึงถึงตำหนิในเรื่องกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งต้องมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคด้วย
- การนำสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์มาใช้ต้องมีการพัฒนาให้เหมาะสม และต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภคด้วย และประสิทธิภาพของการใช้สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ที่ทำการพัฒนา
- การพัฒนากระบวนการผลิตอาหารกึ่งแห้งวิธีการหนึ่งที่ประสบผลสำเร็จคือการใช้สารประกอบชีวเมกเทนท์ ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ หรือเข้าไปในโครงสร้างของอาหาร เช่น เนยแข็ง อีกทั้งมีการพัฒนาการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส (osmotic drying process) และเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Impregnation technology; VI) เข้ามาใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

- ความคงทนในการเก็บรักษาอาหารถึงแห่งทั้งในด้านเคมี กายภาพ และชีวภาพ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากโดยเฉพาะในการผลิตเพื่อการค้า

อาหารกึ่งแห้งแบบที่มีการพัฒนาใหม่ ได้เริ่มมีการพัฒนามาจากอาหารกึ่งแห้งแบบดั้งเดิม ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งแบบดั้งเดิมที่ไม่มีการเติมสารฮิวเมกแทนท์เลย เช่น ลูกพลัมแห้ง หรือลูกพรุน (prunes) แอปปริคอตหรือบ้วย (apricots) อินทผลัม (dates) และ มะเดื่อ (figs) เป็นต้น แบบที่อาจจะมีการเติมน้ำตาล เช่น ผลไม้หวาน (candied fruits) ขนมหวานนุ่ม (soft candies) ขนมหวานฟู (marshmallows) แยม (jams) เยลลี่ (jellies) น้ำผึ้ง (honey) ไส้พาย (pie fillings) และน้ำเชื่อม (syrops) หรือแบบที่อาจจะมีการเติมเกลือและน้ำตาลร่วมกัน เช่น แฮม (ham) เนื้อผสม ผลไม้แห้ง (pemmican) และผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery products) อาหารประเภทนี้มีความชื้น ในช่วงร้อยละ 10-40 หรือมีค่าน้ำที่ เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.65-0.90 ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารกึ่งแห้งแบบดั้งเดิม

ประเภทอาหารกึ่งแห้ง	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (A _w)
Liverwurst	0.96
กุนเชียง	0.82-0.85
ไส้กรอกประเภท Landjager	0.79
ผลไม้แห้ง	0.72-0.80
แยมและเจลลี่	0.82-0.94
น้ำผึ้ง	0.75
ไส้ที่ใช้กับ Pastries	0.65-0.71

ที่มา: ดัดแปลงจาก Karel (1976)

การพัฒนาอาหารกึ่งแห้งปัจจุบันได้มุ่งเน้นในประเด็นสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการพัฒนาอาหารสัตว์เลี้ยงกึ่งแห้ง (pet foods) ซึ่งได้รับความสำเร็จค่อนข้างสูง (Burrows and Barker, 1976; Flink, 1977) อีกส่วน ได้แก่ ส่วนของการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งเพื่อนักสำรวจ และนักบินอวกาศ (Heidelbaugh and Karel, 1975; Karel, 1976; Robson, 1976) และส่วนที่สามเป็นส่วนของการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งในรูปแบบแนวใหม่ (Flink, 1977)

ตารางที่ 1.3 แสดงถึงตัวอย่างสูตรของผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์เลี้ยงที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม ฉ่ำน้ำ (Heidelbaugh and Karel, 1975)

ตารางที่ 1.3 สูตรอาหารสัตว์เลี้ยงที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม ฉ่ำน้ำ เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ

ส่วนประกอบ (ส่วนผสม)	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)
Chopped meat by-products (tripe, udders, cheek trimmings, tongue trimmings, gullets, etc.)	32.0
Defatted soy flakes	31.0
Sucrose	21.7
Flaked soy bean hulls	3.0
Dicalcium phosphate	3.0
Dried non-fat milk solids	2.5
Propylene glycol	2.0
Bleachable-fancy tallow	1.0
Mono- and diglycerides	1.0
Sodium chloride	1.0
Potassium sorbate	0.3
FD&C red dye	0.006
Garlic	0.2
Vitamin and mineral premix	0.06

ที่มา: ดัดแปลงจาก Heidelbaugh and Karel (1975)

อาหารกึ่งแห้งแบบที่มีการพัฒนาใหม่ได้รับความสนใจอย่างมากโดย U.S. department of Defense และ The U.S. National Aeronautics and Space Administration โดยมีโปรแกรมในการพัฒนาอาหารกึ่งแห้งแบบนี้ ดังต่อไปนี้คือ

- Moist-infusion ในอาหารที่เป็นของแข็งโดยการจุ่ม หรือการปรุงในสารละลายจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ตามที่ต้องการ
- Dry-infusion ในอาหารแข็งโดยการทำแห้งในตอนแรก แล้วจึงจุ่มอาหารลงในสารละลายที่ประกอบด้วยสารออสโมติก (osmotic agents) ที่ต้องการ
- Blending เป็นการผสมผสานโดยการชั่งน้ำหนักส่วนผสม และผสมเข้าด้วยกัน นำไปผ่านกระบวนการแปรรูปหรือใช้วิธีการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) หรือ การอัดผ่านเกลียว หรือการอัดพอง หรืออาจจะใช้การผสมร่วมกันของส่วนผสมต่าง ๆ จนสุดท้ายได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ตามที่ต้องการ กระบวนการแปรรูปอาหารต่าง ๆ อาจจะนำมาใช้ประโยชน์ในส่วนผสมดังกล่าวเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้

ซึ่งมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือ (ก) การปรับค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ให้ได้ค่าตามที่ต้องการ (ข) ความคงทนต่อเชื้อจุลินทรีย์โดยการใช้ความร้อน หรือสารเคมีช่วย (ค) การเสื่อมเสียเนื่องมาจากเอนไซม์ อาจแก้โดยวิธีการลวก (ง) ป้องกันการเสื่อมเสียทางเคมี และกายภาพโดยการเติมสารต้าน

ออกซิเดชัน (antioxidants) สารคีเลตจับแร่ธาตุประจุบวก (chelator) สารอิมัลชัน (emulsifier) และสารให้ความคงตัว (stabilizer) เป็นต้น (จ) คำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการ

นอกจากนี้การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งในปัจจุบันมีการนำโพลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohols) น้ำตาล และ/หรือเกลือมาใช้ในการผลิต เพื่อลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ อีกทั้งมีการเติมสารยับยั้งจุลินทรีย์ เช่น โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol; PG) และกรดซอร์บิก (sorbic acid) ตลอดจนมีการพัฒนาคุณภาพทางด้านกลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัส และสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพด้วย ตารางที่ 1.4 แสดงให้เห็นถึงผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งรูปแบบที่มีการพัฒนาใหม่

ตารางที่ 1.4 ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ความเป็นกรดเป็นด่างและการนำสารเคมีบางอย่างมาใช้ในการอาหารกึ่งแห้งรูปแบบที่มีการพัฒนาใหม่

ตัวแปร	IMF-Catfish	IMF-Coconut milk	IMF-Cheese
ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (A_w)	0.80	0.75-0.80	0.82
น้ำ (ร้อยละ)	26.60	30-35	~25
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	6.4	7.0	5.2
สารเจือปน (additives)	• Potassium sorbate • Propylene glycol • Sorbitol • Sucrose • Sodium Chloride	• Sorbic acid ร้อยละ 0.1	• Potassium sorbate • Propylene glycol • Sodium chloride

ที่มา: ดัดแปลงจาก Karel (1976)

อาหารกึ่งแห้งบางประเภทใช้วิธีการเตรียมโดยวิธี Dry-infusion และผลิตในรูปแบบที่สามารถขบเคี้ยวได้ในขนาดที่เหมาะสม และสามารถบริโภคได้ทันที เช่น เนื้อวัวย่าง (roast beef) เนื้อหมูย่าง (roast pork) เนื้อบาสีคิว (barbecue beef) ไก่บาสีคิว (barbecue chicken) ไก่แบบพระราชชา หรือชิกเกนอาลาคิง (Chicken à la King) สตูว์เนื้อ (beef stew) เนื้อวัวหมักเกลือ (corned beef) ถั่วผสมพริก (chili with bean) ไส้กรอก (sausage) และแฮม (ham) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้นได้เตรียมโดยการใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่วนผสมทั้งหมดก่อน และนำมาผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วต่ำและตามด้วยกลไกการแช่ในส่วนผสมที่กำหนด ทิ้งไว้ในอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม สูตรตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1.5 และตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.5 แสดงลักษณะสำคัญของอาหารกึ่งแห้งที่พัฒนาเพื่อสายงานทางอวกาศ (Karel, 1976) ส่วนตารางที่ 1.6 แสดงสูตรหนึ่งของอาหารกึ่งแห้งเพื่อนักบินอวกาศที่ดัดแปลงโดย Swift and Company (Heidelbaugh and Karel, 1975)



ภาพที่ 5.18 (ข) แผนผังแสดงการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศของรูพรุนในเนื้อเยื่อชีวภาพ ระหว่างช่วงเวลาสุญญากาศ (t_1) และช่วงปรับคืนสู่บรรยากาศปกติ (t_2)

ที่มา: ดัดแปลงจาก ไพโรจน์ (2539); Fito et al. (1996)

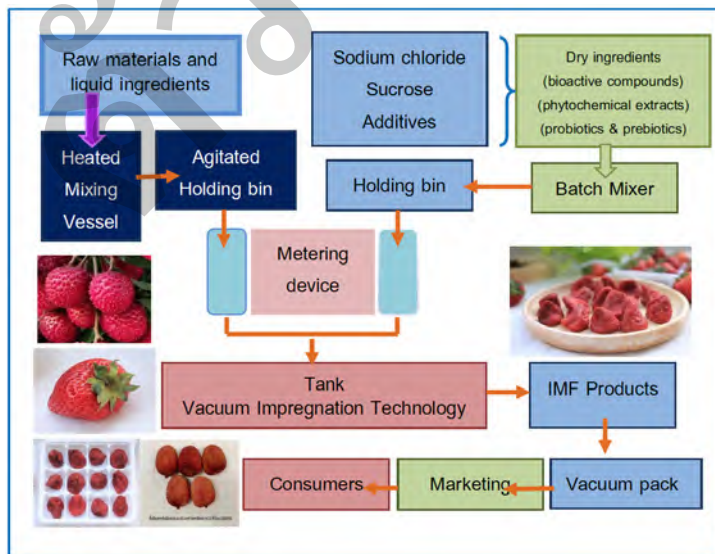
• ช่วยประหยัดพลังงาน โดยลดพลังงานและเวลาในการผลิต เทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศเป็นเทคนิคที่ใช้หลักการสุญญากาศและการออสโมซิสในระบบสารละลาย โดยอาศัยความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของสารละลาย ทั้งนี้เมื่อมีการใช้ความดันแบบสุญญากาศเข้าไปในระบบทำให้การออสโมซิสเกิดได้รวดเร็วขึ้นส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตได้ดังแสดงในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 พารามิเตอร์ที่ใช้ในเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศของการแปรรูปผักและผลไม้

พารามิเตอร์	สภาวะ
ความเข้มข้นของสารละลาย	โดยส่วนใหญ่จะใช้สารละลายซูโครส สำหรับระดับความเข้มข้นใช้น้อยที่สุด 20 ถึง < 50 องศาบริกซ์ สำหรับอาหารแห้ง (dehydrated food) ใช้ 50-75 องศาบริกซ์
อุณหภูมิของสารละลาย	20-50 องศาเซลเซียส
ระดับสุญญากาศ	ใช้น้อยที่สุด 0.005 – 0.050 บาร์ สำหรับอาหารแห้ง (dehydrated food) ใช้ 0.050 – 0.20 บาร์
เวลาที่ใช้ในระดับสุญญากาศ	10-30 นาที
เวลาที่ใช้ในระดับความดันบรรยากาศ	ใช้เวลาอย่างน้อยที่สุด 10-20 นาที สำหรับอาหารแห้ง (dehydrated food) ใช้ 0.050 – 0.20 บาร์

ที่มา: Yanyun and Jing (2004)

แผนผังในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง โดยการนำเอาเทคโนโลยีมาปรับใช้เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมี และจุลินทรีย์ ได้แสดงดังข้างล่าง



ภาพที่ 5.31 เทคโนโลยีการผลิตอาหารกึ่งแห้ง (ตัวอย่างสตรอเบอร์รี่ ลินจี่ กึ่งแห้ง)

ที่มา: ไพโรจน์ (2539); ไพโรจน์ และณัฐพร (2552)



(3) ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้
สุญญากาศ (VI) ที่ความดัน -0.9 บาร์
เวลา 30 นาที



(4) แสงสารแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.75
เป็นเวลา 30 นาที



(5) จัดเรียงใส่ตู้



(6) อบแห้งด้วยเครื่องอบสุญญากาศอุณหภูมิ
60 องศาเซลเซียส เวลา 7 ชั่วโมง



(7) ผลิตภัณฑ์ลำไยกึ่งแห้ง

ภาพที่ 5.37 กระบวนการผลิตลำไยกึ่งแห้งด้วยการใช้สารปรับปรุงเนื้อสัมผัส
ที่มา: ไพโรจน์ และคณะ (2554)



ลำไยชีวภาพอบแห้ง



ลำไยแช่สารละลายออสโมติกอบแห้ง



ลำไยแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์อบแห้ง



ลำไยแช่สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์
อบแห้ง



ลำไยกึ่งแห้ง (ชุดควบคุม)

ภาพที่ 5.38 ผลิตรัณฑ์ลำไยกึ่งแห้งที่พัฒนาทั้งสูตรและกระบวนการผลิตด้วยวิธีต่าง ๆ

ที่มา: ไพโรจน์ และคณะ (2554)



IM-Fruity soft (Cape goose berry)



IM-Fruity soft (Strawberry)



IM-Coffee soft



Fruity Soft (Cape gooseberry)



Fruity Soft (Strawberry)



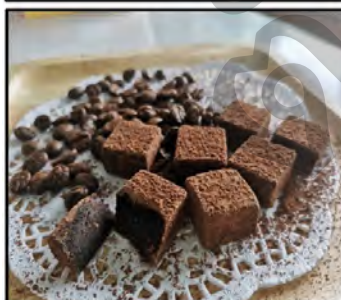
Fruity Soft (Mango)



Coffee Soft



Green tea Soft



ภาพที่ 5.51 ผลิตภัณฑ์ Super IM-foods
ที่มา: ไพโรจน์ และคณะ (2563)

บทบาทของน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาชีวเคมี สมบัติเชิงหน้าที่และการเกิดฤทธิ์ทางชีวภาพก่อให้เกิดสุขภาพที่ดีต่อผู้บริโภค มีผลกระทบต่อ การเติบโตของจุลินทรีย์ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งเป็นดัชนีชี้วัดความคงตัว ปลอดภัย มีคุณค่าทางโภชนาการ ตลอดจนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารทั้งแห้ง

อาหารทั้งแห้งมีแนวโน้มในการบริโภคที่สูงขึ้นและมีความหลากหลายมากขึ้น ความรู้ความเข้าใจในมุมมองด้านวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารทั้งแห้งโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลินทรีย์มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นำไปสู่การพัฒนาเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อประโยชน์ต่อการสร้างนวัตกรรม การคิดค้นหานวัตกรรมเป็นกลไกหนึ่งในการขยายความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมอาหาร นวัตกรรมที่เพิ่มทั้งคุณค่าและมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมอาหารทั้งแห้งจึงเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญ เช่น อาหารทั้งแห้งเพื่อสุขภาพ อาหารสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ การแพทย์รวมทั้งอาหารทั้งแห้งสำหรับอนาคต การวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารทั้งแห้งทั้งสูตรการผลิตและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องเพื่อตอบสนองความต้องการของนวัตกรรมอาหารทั้งแห้ง เป็นสิ่งที่น่าท้าทาย และมีแนวโน้มที่ดีในอนาคต เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการพัฒนาสร้างนวัตกรรมอาหารทั้งแห้งที่สามารถขยายผลเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามที่ต้องการได้อย่างดี



CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

ISBN: 978-616-398-935-2



ราคา 373 บาท