บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

อาหารมังสวิรัติ หมายถึง อาหารที่ไม่มีเนื้อสัตว์เป็นส่วนประกอบ แต่อาจมีหรือไม่มีผลิตภัณฑ์จากไข่และนมเป็นส่วนประกอบในอาหารก็ได้ (เอกพันธ์ แก้วมณีชัย, 2536) สำหรับการบริโภคอาหารมังสวิรัติได้เริ่มมีมานานนับตั้งแต่พุทธศักราช 1000 และเจริญก้าวหน้าพร้อมกับพุทธศาสนา ศาสนาฮินดูและศาสนาเชนหรือชินในประเทศอินเดีย (ปราณีต ผ่องแผ้ว, 2536) นอกจากนั้นยังพบผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติในกลุ่มและองค์กรศาสนาอื่น ๆ เช่น กลุ่ม Seventh-Day Adventists ในนิกายโปรเตสแตนต์ กลุ่ม The Latter-Day Saints (Mormons)และ The Catholic Church (Order of Trappist Monks) เป็นต้น (Hardinge and Hardinge, 1992) โดยผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติส่วนใหญ่จะบริโภคตามหลักปฏิบัติและความเชื่อทางศาสนาเป็นสำคัญ ปัจจุบันนี้การบริโภคอาหารมังสวิรัติมิได้จำกัดเฉพาะแต่ในกลุ่มศาสนาเท่านั้น แต่กำลังได้รับความนิยมจากประชาชนมากขึ้น สำหรับเหตุผลสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคหันมารับประทานอาหารมังสวิรัติมากขึ้นนั้น คือ เพื่อส่งเสริมสุขภาพหรือเป็นโภชนะบำบัดร่วมกับการควบคุมโรค เช่น ในผู้ที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงหรือผู้ที่มีน้ำหนักส่วนเกิน ซึ่งในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์ว่าการบริโภคอาหารมังสวิรัติก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพ อาทิเช่น ช่วยให้มีระดับคอเลสเตอรอลในเลือดต่ำลง ลดอุบัติการณ์ในการเกิดโรคบางชนิด เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเบาหวาน เป็นต้น (Sanders, 1993) ปัจจุบันมีการแบ่งกลุ่มผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติตามระดับการลดหรือหลีกเลี่ยงการบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ดังนี้ (Hoogenkamp, 1992)

ประเภทที่ 1 Semi-Vegetarian เป็นกลุ่มที่งดการบริโภคเฉพาะเนื้อวัวและเนื้อสุกร แต่ยังคงบริโภคเนื้อสัตว์ปีก ปลา และผลิตภัณฑ์จากนมและไข่

ประเภทที่ 2 Pesco-Vegetarian เป็นกลุ่มที่งดการบริโภคเนื้อสัตว์ทุกชนิด ยกเว้นปลา แต่ยังคงบริโภคผลิตภัณฑ์จากนมและไข่

ประเภทที่ 3 Lacto-Ovo-Vegetarian เป็นกลุ่มที่งดการบริโภคเนื้อสัตว์ทุกชนิด แต่ยังคงบริโภคผลิตภัณฑ์จากนมและไข่

ประเภทที่ 4 Lacto-Vegetarian เป็นกลุ่มที่งดการบริโภคเนื้อสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งไข่ด้วย แต่ยังคงบริโภคนมและผลิตภัณฑ์จากนม

ประเภทที่ 5 Ovo-Vegetarian เป็นกลุ่มที่งดการบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากนมทุกชนิด แต่ยังคงรับประทานไข่

ประเภทที่ 6 Vegan-Vegetarian เป็นกลุ่มที่บริโภคอาหารและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพืชเท่านั้นโดยงดการบริโภคอาหารที่ทำจากเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ทุกชนิด เช่น นมและไข่ สำหรับผู้รับประทานอาหารเจ จัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วยเช่นกัน แต่มีความแตกต่างอยู่ประการเดียวคือ ห้ามรับประทานพืชที่มีกลิ่นฉุน 5 ชนิด คือ หัวหอม กระเทียม หลักเกียว กุยช่าย และยาสูบ

การรับประทานอาหารมังสวิรัติส่วนใหญ่ จะเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคเอง จะด้วยเพราะความเชื่อทางศาสนา นิกาย หรือเหตุผลอื่น ๆ ในทางการแพทย์ไม่มีการแนะนำว่าผู้ใดควรรับประทานอาหารมังสวิรัติ มีแต่ข้อแนะนำสำหรับผู้ที่ต้องการรับประทานมังสวิรัติว่าควรปฏิบัติอย่างไรจึงจะไม่มีผลเสียต่อสุขภาพ และแนะนำว่าผู้ใดไม่สมควรรับประทานมังสวิรัติเท่านั้น โดยทั่วไปผู้ที่ไม่ควรรับประทานมังสวิรัติก็คือ เด็ก และหญิงมีครรภ์หรือขณะให้นมบุตร นอกจากนี้ผู้ที่ป่วยหนัก เช่น มีการติดเชื้อ ได้รับอุบัติเหตุ หรือมีบาดแผล ซึ่งมีความต้องการสารอาหารและโปรตีนในปริมาณมาก ก็ไม่ควรเคร่งครัดในการรับประทานอาหารมังสวิรัติมากนัก เนื่องจากถ้าขาดสารอาหารจะมีผลต่ออาการของโรคและเกิดภาวะแทรกซ้อนได้ง่าย

การรับประทานอาหารมังสวิรัติอย่างถูกต้องจะมีผลดีต่อร่างกาย แต่หากรับประทานไม่ถูกต้องก็อาจทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายได้ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า การรับประทานอาหารมังสวิรัติที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกายและยังคงทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารครบถ้วนหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับการเลือกบริโภคหรือพฤติกรรมของผู้บริโภคเป็นสำคัญกล่าวคือ ถ้าเลือกรับประทานอาหารที่มีความหลากหลาย ไม่ใช่เลือกบริโภคเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง ก็สามารถได้รับสารอาหารที่มีคุณค่าครบถ้วนได้ อย่างไรก็ตามการรับประทานอาหารมังสวิรัติก็ยังมีความเสี่ยงต่อการขาดสารอาหารบางประเภทได้มากกว่าคนทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีน เนื่องจากโปรตีนที่ได้จากพืชมีคุณภาพไม่สมบูรณ์ (incomplete protein) คือ มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายบางชนิดต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ FAO/WHO (1973) ในขณะที่โปรตีนที่ได้จากสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์มีคุณภาพสมบูรณ์ โดยในพืชแต่ละชนิดนั้นจะมี limiting amino acid แตกต่างกันไป เช่น พืชตระกูลถั่วมีปริมาณของกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (Methionine) และซีสทีน (Cystine) ต่ำ แต่มีกรดอะมิโนไลซีน (Lysine) สูง ในขณะที่ข้าวสาลีมีกรดอะมิโนไลซีนต่ำ ดังนั้นผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติจึงควรรับประทานพืชหลายๆ ชนิดทั้งนี้เพื่อชดเชยสารอาหารแต่ละชนิดที่พืชบกพร่องไป

2.1 โปรตีนจากพืช

ในบรรดาโปรตีนที่มนุษย์ผลิตได้นั้นประมาณ 4 ใน 5 ได้มาจากพืช มีเพียง 1 ใน 5 เท่านั้นที่มาจากสัตว์ สำหรับโปรตีนที่ได้จากพืชนั้นประมาณ 2 ใน 3 ได้มาจากเมล็ดธัญพืช และ 1 ใน 5 มาจากเมล็ดพืชน้ำมัน ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าโปรตีนจากพืชเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์ ซึ่งในปัจจุบันมีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น โดยส่วนหนึ่งได้นำมาใช้ในรูปของวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ เช่น เต้าหู้ เต้าเจี้ยว น้ำนมถั่วเหลือง เป็นต้น อีกส่วนหนึ่งได้ถูกสกัดออกมาในรูปของโปรตีนเข้มข้น (protein concentrate) โปรตีนสกัด (protein isolates) และกรดอะมิโน เป็นต้น เพื่อทำหน้าที่อื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับด้านโภชนาการ เช่น เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ สารแต่งกลิ่นรสอาหาร ทำให้อาหารเกิดโฟม เป็นต้น (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) สำหรับในด้านโภชนาการโปรตีนที่ได้จากพืชนั้นมีคุณภาพต่ำกว่าโปรตีนจากสัตว์และจัดเป็นโปรตีนไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่ำกว่ามาตรฐานของ FAO/WHO (1973) นอกจากนี้ในพืชแต่ละชนิดยังมีกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid) และ limiting amino acids ที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ ดังนั้นจึงควรนำโปรตีนจากพืชหลายชนิดมาผสมกันก่อนการบริโภคหรือบริโภคอาหารที่เป็นแหล่งของโปรตีนจากพืชหลายชนิดผสมผสานกัน เพื่อให้ได้กรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายครบถ้วน

ตารางที่ 2.1 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในอาหารชนิดต่าง ๆ

กรดอะมิโน (มก. /กรัมโปรตีน)	ข้าวเจ้า	ถั่วเหลือง	งาขาว	โปรตีนเกษตร	เนื้อวัว	FAO/WHO
Isoleucine	37	37	26	53	48	40
Leucine	74	74	51	92	81	70
Lysine	34	59	20	64	89	55
Methionine+Cystine	26	22	28	40	40	35
Phenylalanine+Tyrosine	65	64	54	98	80	60
Threonine	39	42	30	46	46	40
Tryptophan	17	15	13	11	11	10
Valine	41	50	38	51	50	50

ที่มา : เพลินใจ ตังคณะกุล (2537)

ตารางที่ 2.2 ชนิดของ limiting amino acid ในพืชแต่ละชนิด

ชนิด	First limiting amino acid	Second limiting amino acid
พืชตระกูลถั่ว	Methionine, Cystine	Valine
ข้าวเจ้า	Lysine	Threonine
ข้าวสาลี	Lysine	Threonine
ข้าวโอ๊ต	Lysine	Threonine
ข้าวโพด	Lysine	Threonine
งา	Lysine	Threonine

ที่มา : เพลินใจ ตังคณะกุล (2537)

2.2 แหล่งโปรตีนพืช

โปรตีนพืชมีแหล่งที่มาจาก 3 แหล่งด้วยกัน คือ (Jones, 1974)

- โปรตีนจากผัก (fresh vegetable protein) โปรตีนในผักจะมีปริมาณค่อนข้างต่ำมากทั้งนี้เนื่องจากในผักจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบสูงดังนั้นจึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

- โปรตีนจากเมล็ดพืชน้ำมัน (oilseed protein) เมล็ดพืชน้ำมันนั้นมีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรมอาหารมาก โดยนอกจากจะมีปริมาณไขมันที่สูงจนสามารถนำมาสกัดน้ำมันเพื่อใช้ประกอบอาหาร แล้วยังเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดี สำหรับโปรตีนจากเมล็ดพืชน้ำมันที่สำคัญ ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น

- โปรตีนจากเมล็ดธัญพืช (cereal grain protein) ปริมาณโปรตีนที่มีในเมล็ดธัญพืชนั้นมีไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมัน แต่ก็มีในปริมาณที่สูงกว่าโปรตีนในผักมาก ดังนั้นจึงทำให้โปรตีนจากเมล็ดธัญพืชมีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรมอาหารรองลงมาจากโปรตีนจากเมล็ดพืชน้ำมัน สำหรับโปรตีนจากเมล็ดธัญพืชที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด เป็นต้น

2.3 การใช้โปรตีนพืชในอาหารมังสวิรัติ

จากการที่มีผู้บริโภคหันมารับประทานอาหารมังสวิรัติมากขึ้น จึงทำให้อุตสาหกรรมอาหารได้มีการวิจัยและพัฒนาอาหารมังสวิรัติให้มีความหลากหลายและมีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารที่ทำมาจากเนื้อสัตว์มากขึ้น เช่น ลูกชิ้นกุ้งมังสวิรัติ ซี่โครงหมูมังสวิรัติ ปูมังสวิรัติ เป็นต้น วัตถุดิบสำคัญในการผลิตอาหารมังสวิรัติที่สำคัญ คือ โปรตีนจากพืช โดยโปรตีนจากพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารมังสวิรัตินั้นมักอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ 2 ลักษณะ คือ ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชขั้นต้น (primary vegetable protein product) และผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชขั้นสุดท้ายหรือผลิตภัณฑ์โปรตีนพืชสำเร็จรูป (finished product) สำหรับผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชขั้นต้นนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ (Roberts, 1979)

1. Vegetable protein flour หมายถึง ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชที่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 65 โดยน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ได้แก่ แป้งถั่วเหลือง (soy flour) ซึ่งมีปริมาณของโปรตีนประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง

2. Vegetable protein concentrate หมายถึง ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชที่มีปริมาณโปรตีนระหว่างร้อยละ 65-90 โดยน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ได้แก่ โปรตีนข้าวโพดเข้มข้น โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นซึ่งมีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนักแห้ง

3. Vegetable protein isolate หมายถึง ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของโปรตีนสูงสุด ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด

ผลิตภัณฑ์โปรตีนพืชสำเร็จรูป (finished product) ที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตหรือนำมาประกอบอาหารมังสวิรัตินั้น ได้แก่ โปรตีนพืชแปลงเนื้อสัมผัส (Textured vegetable protein) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปลงเนื้อสัมผัสโปรตีนจากพืช ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์ทั้งในด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส รวมทั้งสมบัติด้านการบดเคี้ยว (Horan, 1974) ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- spun fiber protein ซึ่งผลิตได้จาก fiber spinning process โดยผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเป็นเส้นใยโปรตีน ซึ่งเมื่อนำมาเคลือบด้วยสารช่วยการเชื่อมติด (binding agent) เช่น egg albumin แล้วนำไปให้ความร้อน จะทำให้เส้นใยเชื่อมเข้าด้วยกันเป็นผลให้เกิดชิ้นหรือก้อนของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์

- extruded fiber protein เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจาก extrusion process ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเป็นชิ้นหรือก้อนของโปรตีนที่มีขนาดและรูปร่างตามแม่แบบ(die)ที่โปรตีนถูกอัดผ่านจาก extruder

สำหรับโปรตีนจากพืชที่นิยมมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการนำมาผลิตเป็นอาหารมังสวิรัติ คือ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองและกลูเตน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี

ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่นำมารับประทานในลักษณะเป็นอาหารมังสวิรัตินั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ (Huang and Ang, 1992) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการหมัก ได้แก่ เต้าเจี้ยว เต้าหู้ยี้ ซอสถั่วเหลือง เทมเป้ เป็นต้น และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการหมัก ได้แก่ นมถั่วเหลือง เต้าหู้ เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังมีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เช่น แป้งถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและโปรตีนถั่วเหลืองแปลงเนื้อสัมผัส เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่กล่าวมานั้นมีองค์ประกอบ เช่น ปริมาณโปรตีน ไขมันและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นผลจากความแตกต่างของขั้นตอนและกรรมวิธีการผลิตของผลิตภัณฑ์ โปรตีนถั่วเหลืองนอกจากเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพสูงโดยมีค่า PER (Protein Efficiency Ratio) สูงถึง 2.0 แล้ว (Kalin, 1979) ยังมีคุณสมบัติและหน้าที่บางประการคล้ายกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์ด้วย เช่น เป็นสารช่วยในการเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยโปรตีนทำหน้าที่เป็น surface active agent อยู่ระหว่างผิวของน้ำมันและน้ำ ทำให้แรงตึงผิวของของเหลวทั้งสองชนิดต่ำลง ช่วยทำให้อิมัลชันมีความคงตัวหรือมีเสถียรภาพ ซึ่งเป็นผลจากการที่โปรตีนทำหน้าที่เป็น protective barrier ล้อมรอบเม็ดไขมัน ซึ่งจะ

ช่วยป้องกันการรวมตัวของไขมันในระบบอิมัลชัน นอกจากนั้นโปรตีนถั่วเหลืองยังสามารถเกิดเจลซึ่งมีโครงสร้างที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำ สารแต่งกลิ่นรส น้ำตาลและวัตถุเจือปนอาหารต่าง ๆ (food ingredients) ได้ เจลโปรตีนที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลจากการนำสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองมาให้ความร้อน ซึ่งจะทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ โดยความร้อนจะทำให้เกิดการยืดขยายและการแตกออกของ subunits ภายในสายโพลิเปปไทด์ ซึ่งเมื่อเย็นตัวลงสายโพลิเปปไทด์เหล่านี้จะเกิดการจับและรวมตัวขึ้นมาอีกครั้งโดยอาศัยพันธะไฮโดรเจน พันธะอิออนิก พันธะไดซัลไฟด์ เกิดเป็น โครงสร้าง 3 มิติ (three-dimensional network) ของร่างแหเจลโปรตีน (gel protein matrix) สำหรับเจลที่ได้นี้จะมีลักษณะยืดหยุ่น มีลักษณะของพลาสติก (plasticity) และมีความหนืดค่อนข้างสูง สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีน ได้แก่

<u>การเตรียมสารละลายของโปรตีน</u> เจลที่ได้จากการเตรียมสารละลายจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะมีลักษณะที่แน่น เหนียวและแข็ง ในขณะที่เจลที่ได้จากสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า 70% จะมีลักษณะคล้ายเต้าหู้คือ นิ่มและแตกได้ง่าย (Kinsella, 1979)

<u>ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน</u> ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนจะมีผลต่อความแข็งของเจล(hardness) คือ ถ้าสารละลายโปรตีนมีความเข้มข้นมากขึ้น ความแน่นเนื้อของเจลก็จะเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนต่ำสุดที่สามารถจะเกิดเจลได้คือ ที่ความเข้มข้น 8% และเมื่อสารละลายมีความเข้มข้น 8-14% เจลจะสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อใช้อุณหภูมิ 70-100 องศาเซลเซียส นาน 10-30 นาที แต่หากใช้อุณหภูมิสูงกว่า 125 องศาเซลเซียส โปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนสภาพมากจนไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ (Circle, Meyer and Whitney, 1964)

<u>อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายโปรตีน</u> สารละลายโปรตีนจะสามารถเกิดเป็นเจลได้ เมื่อให้ความร้อนสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานนั้นเจลที่ได้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเจลที่เกิดขึ้นจากการใช้อุณหภูมิสูง แต่หากใช้อุณหภูมิสูงเกินไป (มากกว่า 100 องศาเซลเซียส) จะทำให้สายโพลิเปปไทด์ไม่สามารถที่จะมาจับตัวหรือรวมตัวเกิดเป็นโครงสร้างของเจลได้อีก หรืออีกนัยหนึ่งคือความร้อนทำให้โครงสร้างทุติยภูมิและตติยภูมิของโปรตีนถูกทำลาย เป็นผลให้โครงสร้างเจลของโปรตีนถูกทำลายด้วยเช่นกัน (Catsimpoolas and Meyer, 1970)

<u>สารประกอบที่มีอยู่ในสารละลายโปรตีน</u> เช่น เกลือ ซึ่งจะช่วยให้เจลมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยเกลือจะมีผลให้อุณหภูมิที่ต้องใช้ในการเกิดเจลเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลจากโซเดียมคลอไรด์

จะทำให้ 11s globulin ในสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันเกลือจะมีผลทำให้เจลมีความหนืดลดลงด้วย (Catsimpoolas and Meyer, 1970)

กลูเตน หรือที่คนจีนเรียกว่า แป้งหมี่กึงนั้นจัดเป็นโปรตีนจากพืช อีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอันดับสองรองมาจากโปรตีนถั่วเหลืองในการนำมาผลิตเป็นอาหารมังสวิรัติ กลูเตนส่วนใหญ่นิยมสกัดจากแป้งสาลี ทั้งนี้เนื่องจากเป็นโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบในข้าวสาลีสูงถึง 80-85% (Krull and Inglett, 1971) การผลิตกลูเตนเพื่อนำมาใช้ในการประกอบอาหารต่าง ๆ เพื่อใช้แทนเนื้อสัตว์ในอาหารมังสวิรัติในระดับพื้นบ้านมีมานาน ทำโดยนำแป้งสาลีมานวดผสมกับน้ำจำนวนเล็กน้อย นวดจนเป็นก้อน แล้วล้างส่วนที่เป็นแป้ง (starch) ออกด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งจนน้ำที่ล้างใส ไม่มีแป้งปน ส่วนที่เหลืออยู่มีลักษณะเป็นก้อนเหนียวคล้ายยาง ซึ่งเรียกว่า "กลูเตน" กลูเตนที่ผลิตขึ้นนี้คนจีนนิยมนำมาทำเป็นอาหารมังสวิรัติและอาหารเจ เพื่อเลียนแบบหรือใช้แทนเนื้อสัตว์ ได้แก่ ไส้หมู กระเพาะหมู ขาหมู ลูกชิ้น เป็นต้น (อุดม กาญจนปกรณ์ชัย, 2523) สำหรับในทางการค้าจะผลิตโดยใช้หลักการเดียวกันคือ ผสมแป้งสาลีกับน้ำแล้วนวดให้เกิดเป็นโดเหนียว แล้วล้างก้อนโดด้วยน้ำเพื่อแยกสตาร์ชออกจากกลูเตน นำสตาร์ชที่ปนมากับน้ำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกสตาร์ชบริสุทธิ์ นำมาทำแห้งแล้วบด ส่วนกลูเตนที่แยกได้ นำมาทำเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำมาทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนหรือด้วยระบบสุญญากาศ หรืออาจนำกลูเตนไปละลายในกรดอะซิติก ก่อนนำมาผ่านเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งร้อน (drum dryer) แล้วจึงนำกลูเตนมาบดเป็นผงละเอียด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) กลูเตนที่ได้นี้สามารถละลายน้ำได้ดี อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในด้าน emulsifying property และ foaming property อีกด้วย (Wu, Nakai and Powrie, 1976 ; Bollecker and Popineau, 1991) ในกระบวนการผลิตกลูเตนผงนั้นจุดวิกฤติในการผลิตอยู่ที่วิธีการทำแห้ง ซึ่งต้องควบคุมด้วยความระมัดระวัง เพราะมีผลต่อสีและคุณสมบัติของกลูเตนที่ผลิตขึ้น (Wookey, 1979)

ในกลูเตนจะประกอบด้วยโปรตีนที่สำคัญสองชนิดคือ ไกลอะดินและกลูเตนิน ซึ่งโปรตีนทั้งสองชนิดนี้มีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติของกลูเตน คือ ไม่สามารถละลายในน้ำ แต่จะดูดน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อนำมาผสมกับน้ำแล้วนวดจะทำให้เกิดเป็นโด (dough and hydrated gluten) ที่มีความยืดหยุ่น (elastic) และยึดเกาะกันเป็นก้อนเหนียว(cohesive) นอกจากนี้กลูเตนยังมีความสามารถในการเกิดโครงสร้างที่สามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้ ยิ่งไปกว่านั้นกลูเตนยังมีคุณสมบัติ Thermosetting ability (Kalin, 1979) โดยเมื่อนำโด (hydrated gluten) ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 85 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิด coagulation ของโปรตีน แต่การเปลี่ยนแปลงที่

เกิดขึ้นนี้จะไม่มีผลต่อการสูญเสียโครงสร้างของกลูเตน โดยจะยังคงให้เจลที่มีความแน่น ความชุ่มน้ำ ความลื่นไม่ติดมือ และมีความยืดหยุ่นตัว(resilient gel) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้เป็นคุณสมบัติพิเศษของกลูเตนที่แตกต่างจากโปรตีนพืชชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงมักนำกลูเตนมาใช้ในอาหารเพื่อปรับปรุง handling properties และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เพื่อให้มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและมีความยืดหยุ่นคล้ายเนื้อสัตว์ และทำให้เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาหั่นจะให้ผิวหน้าที่เรียบ (Czuchajowska and Smolinski, 1997) นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ โดยในกลูเตนจะมีปริมาณของเมทไธโอนีนสูง เมื่อนำมาใช้ร่วมกับโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งมีเมทไธโอนีนต่ำในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารมังสวิรัติจะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีค่า Protein Efficiency Ratio (PER) สูงขึ้น (Kalin, 1979) เนื่องจากทำให้ปริมาณของเมทไธโอนีนในผลิตภัณฑ์มากขึ้น สำหรับปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในข้าวสาลีและถั่วเหลือง รวมทั้งค่า PER ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองและโปรตีนจากข้าวสาลี จะแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในถั่วเหลืองและข้าวสาลี

Amino acid	Amino acid content (mg/g protein)		
	F A O / W H O Pattern (1973)	Wheat	Soybean
Lysine	55	31	70
Threonine	40	31	42
Methionine and cystine	35	43	28
Leucine	70	72	85
Isoleucine	40	35	50
Valine	50	47	53
Phenylalanine and tyrosine	60	81	89
Tryptophan	10	11	14

ที่มา : Kalin (1979)

ตารางที่ 2.4 Protein Efficiency Ratio (PER) of Wheat Protein/Soy Protein Blends, Relative to Casein PER of 2.5

	Wheat Protein to Soy Protein Blend Ratio				
	100:0	55:45	45:55	30:70	0:100
PER	0.8	2.1	2.3	2.4	2.0

* PER is the ratio of weight gain of a growing animal to the protein consumed. It is a measure of protein quality when determined under specific conditions; the caloric intakes and the vitamin and mineral intakes must be adequate and the protein must be fed at an adequate level for a specific period of time. When fed surfeit levels, weight will no longer increase with protein intake and the ratio will fall. The PER has been used chiefly in feeding experiments on small animal.

ที่มา : Kalin (1979)

2.4 ผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งและเกล็ดขนมปัง

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งและเกล็ดขนมปังมีแนวโน้มได้ความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เป็นที่ดึงดูดใจผู้บริโภค นอกจากนั้นยังสะดวกในการเตรียมและบริโภคซึ่งสอดคล้องกับวิถีการดำเนินชีวิตในปัจจุบันของผู้บริโภค (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2537) สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งและเกล็ดขนมปังนั้นต้องอาศัยส่วนประกอบหลัก 3 ชนิด คือ

ก) <u>แป้งสำหรับคลุก</u> (predust or predust breader) คือ ของผสมมีลักษณะเป็นผงแห้งที่นำมาโรยบนผิวของอาหารหรือใช้สำหรับคลุกกับชิ้นอาหารก่อนนำมาชุบในแป้งชุบทอด โดยเป็นของผสมระหว่างแป้งและองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ไข่ขาวผง กับเครื่องเทศและสารแต่งกลิ่นรสต่างๆ เป็นต้น (Dyson, 1990) วัตถุประสงค์การใช้และหน้าที่ของแป้งสำหรับคลุก คือ ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้ง ซึ่งจะช่วยให้เกิดการยึดติดกับแป้งชุบทอดได้ดี และยังทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ กลิ่นรสกับอาหาร

ข) <u>แป้งชุบทอด</u> (batter) คือ ของผสมที่เป็นของเหลว มีลักษณะข้นหนืดประกอบด้วยน้ำแป้งและสารแต่งกลิ่นรส ใช้สำหรับชุบผลิตภัณฑ์ต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (Suderman, 1990) แป้งชุบทอดส่วนใหญ่มักจะเตรียมในลักษณะของผสมแห้ง (dry mix batter) ซึ่งจะต้องนำมาผสมกับน้ำก่อนนำมาใช้ สำหรับวัตถุดิบหลักที่สำคัญในแป้งชุบทอด คือ แป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ ซึ่งมีโปรตีนประมาณ 10-11% ทั้งนี้เนื่องจากระดับประมาณโปรตีนในแป้งดังกล่าวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับมากกว่าแป้งที่มีโปรตีนสูงกว่า 11% ซึ่งทำให้เกิดชั้นแป้งเคลือบที่ผิวหน้าหนาเกินไป ในขณะที่แป้งที่มีโปรตีนต่ำกว่า 9% จะทำให้เกิดจุด (spotty) ที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ (Davis, 1983) นอกจากนั้นปริมาณโปรตีนในแป้งยังมีผลต่อสี ความกรอบ และการดูดซับน้ำมันของชั้นแป้งที่เคลือบบนผิวหน้าของอาหารด้วย โดยหากมีปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้ชั้นแป้งมีสีเข้ม มีความกรอบและค่าการดูดซับน้ำมันมากขึ้น นอกจากแป้งสาลีแล้วยังสามารถใช้แป้งชนิดอื่น ๆ อีก เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า ฯลฯ ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะให้สีและความกรอบของผลิตภัณฑ์หลังทอดแตกต่างกัน นอกจากแป้งสาลีแล้วยังประกอบด้วยส่วนผสมอื่นๆอีก เช่น สารแต่งกลิ่นรส ผงฟู และกัม ซึ่งแม้มีปริมาณน้อย แต่ก็มีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงและส่งเสริมคุณสมบัติของแป้งชุบทอด ได้แก่ ความหนืด ความสามารถในการจับติดกับผิวของอาหาร สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ สำหรับคุณสมบัติที่สำคัญของแป้งชุบทอดที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ได้แก่

สีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งควรมีสีน้ำตาลทอง (golden brown) อันเป็นสีที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับ โดยสีของผลิตภัณฑ์นั้นเป็นผลของปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar)ในแป้งจนเกิดสารสีน้ำตาลของเมลานอยดิน (melanoidins) นอกจากนี้ยังเป็นผลจากการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ ชนิดของแป้ง ชนิดของน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาในการทอด

ความกรอบ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของแป้งชุบทอด ซึ่งความกรอบจะขึ้นกับองค์ประกอบของแป้ง เช่น อัตราส่วนของอะไมโลส (amylose) ต่ออะไมโลเพคติน (amylopectin) โดยหากเติมแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงในแป้งชุบทอดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบเพิ่มขึ้น

ความสามารถในการจับติดผิวอาหาร เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของแป้งชุบทอด ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์รวมทั้งการเพิ่มน้ำหนักของผลิตภัณฑ์อันเป็นผลของปริมาณเกล็ดขนมปังที่เกาะติดบนผิวหน้ามากขึ้น Cunningham และ Tiede (1981) ได้ศึกษาผลของความหนืดของแป้งชุบทอดที่มีผลต่อการเกาะติดของเกล็ดขนมปังบนขาไก่ชุบแป้งทอด พบว่า

เมื่อแป้งชุบทอดมีความหนืดมากขึ้นจะส่งผลให้มีการเกาะติดของเกล็ดขนมปังบนผิวหน้าอาหารมากขึ้น

การดูดซับน้ำมัน การดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับองค์ประกอบและชนิดของแป้ง โดยแป้งที่มีอะไมโลสสูงจะทำให้มีการดูดซับน้ำมันของชั้นแป้งที่เคลือบบนผิวหน้าอาหารต่ำ นอกจากนี้ยังขึ้นกับส่วนประกอบและพื้นผิวของอาหาร รวมทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอด โดยควรใช้อุณหภูมิสูงและเวลาน้อยในการทอด จะทำให้การดูดซับน้ำมันของชั้นแป้งที่เคลือบบนผิวหน้าต่ำลง

ค) <u>เกล็ดขนมปังหรือขนมปังป่น</u> (breading, breader หรือ bread crumb) คือ แผ่นเกล็ดหรือผงแห้งของแป้งหรือโดขนมปังที่นำมาอบแห้งแล้วบดให้มีขนาดต่างๆ ตามต้องการ สำหรับวัตถุประสงค์ในการใช้เกล็ดขนมปังในผลิตภัณฑ์ คือ ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์น่ารับประทาน และช่วยเพิ่มขนาดและน้ำหนักให้กับผลิตภัณฑ์ เกล็ดขนมปังนั้นมีหลากหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งในด้านขนาด สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความหนาแน่น (density). ทั้งนี้เป็นผลมาจากความแตกต่างของกรรมวิธีการผลิต ซึ่งทำให้สามารถจำแนกประเภทเกล็ดขนมปังได้ดังนี้ คือ (Dyson, 1990)

<u>Traditional breading</u> ผลิตโดยการผสมแป้งและส่วนผสมอื่น ๆ จนเป็นโด แล้วนำมารีดเป็นแผ่นและอบจนกระทั่งมีความชื้นประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ นำไปบดจนได้ขนาดตามต้องการและนำมาอบอีกครั้งจนมีความชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ เกล็ดขนมปังมีเนื้อสัมผัสแข็งและกรอบ

<u>Extruded crumb</u> ผลิตโดยนำแป้งมาผสมกับส่วนผสมอื่นๆ แล้วนำมาผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เกล็ดขนมปังที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็ง (dense/hard) หรือแข็งกรอบ

<u>Japanese style crumb</u> (oriental style crumbs, rice breading หรือ Panko) ผลิตจากโดที่มีการเตรียมมาอย่างพิเศษ แล้วนำมาอบใน unique electrical resistance baking system ซึ่งทำให้เกล็ดขนมปังไม่เกิดสีน้ำตาล จากนั้นทำให้เย็น แล้วนำมาตัดหรือบดให้ได้ขนาดแล้วนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นตามต้องการ เกล็ดขนมปังที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ มีรูปร่างคล้ายเข็ม เนื้อสัมผัสเบากรอบ (crisp)

<u>Home-style bread crumb</u> วิธีการผลิตคล้ายกับการทำขนมปัง โดยนำแป้ง น้ำ และส่วนประกอบอื่น ๆ มาผสมกัน แล้วนวดเป็นโด นำมาแบ่งเป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วพักโดจนได้เวลาแล้วจึงนำไปอบ ทำให้เย็น แล้วนำมาบดหรือตัด จากนั้นนำมาอบแห้งแล้วจึงนำไปร่อน

แยกขนาด เกล็ดขนมปังที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีความหนาแน่นปานกลางและเนื้อสัมผัสกรอบ

แต่สำหรับในทางการค้าจะแบ่งเกล็ดขนมปังออกเป็น 3 ชนิดคือ American style bread crumb, Japanese style crumb และ simulated bread crumb ตามลำดับ โดยชนิดแรกจะมีลักษณะเป็นเม็ดกลมมีเนื้อสัมผัสกรอบ แข็ง ชนิดที่สองมีรูปร่างคล้ายเข็ม มีเนื้อสัมผัสกรอบเบา ส่วนชนิดสุดท้ายนั้นจะเป็นลักษณะผสมผสานระหว่างเกล็ดขนมปังชนิดที่หนึ่งและสอง แต่ส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้สองชนิดแรกมากกว่า แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคเป็นสำคัญ (Newly weds foods, 1992)

สำหรับขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ชุบแป้งและเกล็ดขนมปังนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด แต่การผลิตส่วนใหญ่เริ่มจากการนำวัตถุดิบมาคลุกหรือโรยด้วยแป้งสำหรับคลุก แล้วนำมาชุบแป้งชุบทอดก่อนนำไปคลุกเกล็ดขนมปัง แต่ผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจมีการชุบแป้งชุบทอดสลับการคลุกด้วยเกล็ดขนมปัง แต่ในบางผลิตภัณฑ์อาจไม่มีการคลุกในเกล็ดขนมปัง หลังจากนั้นอาจนำผลิตภัณฑ์ไปทอดในขั้นแรก (prefrying) ซึ่งจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์น่ารับประทานเพิ่มขึ้น แต่ในบางผลิตภัณฑ์อาจข้ามขั้นตอนนี้โดยจะนำไปบรรจุลงในภาชนะที่อาจเป็นกล่องหรือถุงพลาสติกชนิดโพลิเอทธิลีนแล้วนำไปแช่เยือกแข็ง

2.5 สารแต่งกลิ่นรสอาหาร

ในปัจจุบันได้มีการใช้กันสารแต่งกลิ่นรสอาหารกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารหรือแม้แต่การปรุงอาหารในครัวเรือน เนื่องจากสามารถให้กลิ่นรสอันพึงปรารถนาต่ออาหารซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตและรูปแบบของสารแต่งกลิ่นรสอาหารในลักษณะต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น essential oils จากธรรมชาติหรือสารที่เกิดจากการปรุงแต่งเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มักผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของสารละลายในน้ำ, ละลายในไขมัน, ในรูปของอิมัลชัน, ของกึ่งแข็งกึ่งเหลวหรือเพส (semisolid/paste) หรืออยู่ในรูปของ microcapsule (นฤทธิ์ ใหญ่โสมานัง, 2538) การใช้สารแต่งกลิ่นรสอาหารมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อให้เกิดกลิ่นรสอันพึงปรารถนาของอาหาร เนื่องจากในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป (processed food products)นั้น สารประกอบที่ให้กลิ่นรสในอาหารมักจะสูญเสียไประหว่างระหว่างกระบวนการผลิต ในบางครั้งสารแต่งกลิ่นรสก็ใช้เพื่อกระตุ้นให้กลิ่นรสเดิมที่มีอยู่แล้วในอาหารมีความเด่นชัดยิ่งขึ้น เพราะตามปกติกลิ่นรสที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารตาม

ธรรมชาติมักจะมีกลิ่นรสอ่อน (weak) และมีอยู่น้อย นอกจากนั้นการเติมสารแต่งกลิ่นรสยังถูกใช้เพื่อสร้างกลิ่นรสให้กับอาหาร เพราะผลิตภัณฑ์อาหารบางประเภทจะไม่มีกลิ่นรสเลย การเติมสารแต่งกลิ่นรสก็เพื่อสร้างกลิ่นรสของอาหารชนิดนั้นให้มีลักษณะเฉพาะตัว อีกจุดประสงค์หนึ่งของการใช้สารแต่งกลิ่นรสอาหาร คือ ใช้เพื่อกลบกลิ่นรสอันไม่พึงปรารถนาของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนั้น ๆ

สารแต่งกลิ่นรสอาหารนอกจากจะเป็นตัวให้กลิ่นรสอาหารเสมือนหนึ่งได้บริโภคอาหารจากธรรมชาติแล้วยังมีบทบาทและหน้าที่สำคัญอื่น ๆ ที่น่าสนใจอีก อาทิเช่น มีคุณสมบัติเป็น antimicrobial (bactericidal) เช่น น้ำมันหอมระเหยจากกระเทียม (garlic oil) เมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ซาลามิ (salami) จะช่วยในการป้องกันการเจริญของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการ แต่ในขณะเดียวกัน จะปล่อยให้จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในการเกิดกลิ่นที่ต้องการของผลิตภัณฑ์เจริญเติบโต นอกจากนี้สารแต่งกลิ่นรสยังมีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) และ Therapeutic agent เป็นต้น (Swaine, 1995)

ในผลิตภัณฑ์อาหารมังสวิรัติได้มีการนำสารแต่งกลิ่นรสมาใช้ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ที่ทำเลียนแบบเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เลียนแบบผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ทั้งนี้เพื่อลดหรือกลบกลิ่นของโปรตีนพืชที่ไม่พึงประสงค์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่ยังคงมีกลิ่นถั่ว(beany)อยู่ ซึ่งอาจเป็นผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การนำสารแต่งกลิ่นรสมาใช้ยังช่วยปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ดีและมีความคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อสัตว์ สำหรับสารแต่งกลิ่นรสที่สำคัญและนิยมใช้กันมากที่สุดในผลิตภัณฑ์อาหารมังสวิรัติ คือ เครื่องเทศชนิดต่าง ๆ และสารแต่งกลิ่นรสที่ให้ savory flavor

<u>เครื่องเทศ</u> เครื่องเทศชนิดต่างๆ ที่มีการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมังสวิรัตินั้น ได้แก่ หัวหอม กระเทียม ผักชี ยี่หร่า อบเชย กระวาน กานพลู ขิง ลูกจันทน์ ดอกจันทน์ พริกไทย และออลสไปซ์ (all spice) เป็นต้น ทั้งนี้อาจใช้ส่วนของเมล็ด ผล เปลือก ต้นใบ หัวหรือราก ของเครื่องเทศนั้น ๆ แล้วแต่ว่าส่วนใดของต้นเครื่องเทศจะเป็นส่วนจะเป็นที่ให้กลิ่นรสได้มากกว่ากัน นอกจากนี้ยังอาจใช้ในรูปของเครื่องเทศแห้งหรือเครื่องเทศผง หรืออาจเตรียมในรูปของน้ำมันหอมระเหยหรือสารสกัดของเครื่องเทศชนิดต่าง ๆ (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

<u>สารแต่งกลิ่นรสที่ให้ savory flavor</u> สารแต่งกลิ่นรสกลุ่มนี้นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมังสวิรัติที่ทำเลียนแบบผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เนื่องจากจะให้กลิ่นรสที่มีความคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อสัตว์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสน่ารับประทานและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สารแต่งกลิ่นรสดังกล่าวนี้อาจเป็นสารที่เตรียมจากวัตถุดิบธรรมชาติ หรืออาจเตรียม

โดยการสังเคราะห์ขึ้นมาจากสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ให้กลิ่นรสคล้ายธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ สารแต่งกลิ่นรสในกลุ่มนี้อาจเตรียมในรูปเป็นผงหรือเป็นเกล็ดหรือเป็นของเหลว สารแต่งกลิ่นรสที่อยู่ในกลุ่มนี้ที่สำคัญ ได้แก่ กลิ่นรสเนื้อ กลิ่นรสหมู กลิ่นรสกุ้ง กลิ่นรสปลาหมึก กลิ่นรสไก่ กลิ่นรสเบคอน กลิ่นรสควัน (smoke flavor) นอกจากนี้ สารแต่งกลิ่นรสบางส่วนอาจเป็นสารที่เตรียมได้จากการย่อยสลายโปรตีนพืช (hydrolyzed vegetable protein,HVP) ซึ่งในปัจจุบันนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพราะนอกจากจะมีกลิ่นรสที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด(Maillard reaction)ซึ่งเกิดระหว่างการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดแล้วยังมีโมโนโซเดียมกลูตาเมท (monosodium glutamate, MSG) จากกรดอะมิโน glutamic acid ที่มีในโปรตีนและเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งจะช่วยให้อาหารมีรสชาติดีขึ้น

นอกจากนี้ HVP ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตสารแต่งกลิ่นรสอาหารที่มีกลิ่นรสเฉพาะ เช่น กลิ่นไก่ กลิ่นเบคอน ซึ่งได้จากการนำ HVP มาปรุงแต่งด้วยเครื่องเทศ, สารแต่งกลิ่นรส, MSG, สีผสมอาหาร, น้ำตาลรีดิวซ์, และกรดอะมิโน เป็นต้น HVP ที่ผลิตนี้จะมีกลิ่นหอมคล้ายเนื้อสัตว์หรือมีกลิ่นเฉพาะที่ต้องการ มีคุณภาพดี สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด เช่น meat analogs, snacks, reformed meats รวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งและอาหารที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง การใช้ HVP ในผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.1-3.0 โดยน้ำหนัก (Manley and Swaine, 1979 ; Swaine, 1995)

การเลือกใช้สารแต่งกลิ่นรสอาหารและเครื่องเทศชนิดใด ปริมาณเท่าใดในผลิตภัณฑ์นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ และอุปนิสัยการบริโภคของผู้บริโภค (McCue, 1996) รวมทั้งยังต้องเหมาะสมกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนั้นด้วย

2.6 การทอด

การทอดเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารที่จะนำมาบริโภคได้ นอกจากนั้นการทอดยังมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากความร้อนจากการทอดจะไปทำลายจุลินทรีย์ ยับยั้งเอนไซม์ และลดปริมาณน้ำที่ผิวของอาหาร หากแบ่งการทอดตามวิธีการถ่ายเทความร้อนจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ (Fellows, 1990)

<u>การทอดโดยน้ำมันน้อย (shallow หรือ contact frying)</u> วิธีทอดแบบนี้การถ่ายเทความร้อนสู่ชิ้นอาหารส่วนใหญ่ เกิดจากการนำความร้อนจากพื้นผิวกระทะที่ร้อนผ่านชั้นบาง ๆ ของน้ำมันเข้าสู่ชิ้นอาหาร ความหนาของชั้นน้ำมันจะแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นผลจากผิวหน้าของ

ผลิตภัณฑ์ไม่เรียบ จากสาเหตุดังกล่าวประกอบกับฟองอากาศที่เกิดจากการระเหยของน้ำออกจากอาหารในระหว่างการทอดดันชิ้นอาหารขึ้นจากผิวกระทะเป็นครั้งคราว จึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าของชิ้นอาหารไม่สม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด จึงทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของอาหารไม่สม่ำเสมอ การทอดแบบนี้เหมาะกับอาหารที่มีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไข่ เป็นต้น

การทอดน้ำมันท่วม (deep fat frying) การถ่ายเทความร้อนของวิธีทอดแบบนี้จะเกิดร่วมกันระหว่างการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในน้ำมันและการนำความร้อนซึ่งเกิดขึ้นภายในชิ้นอาหาร ผิวหน้าอาหารทุกจุดจะได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้สีและลักษณะปรากฏที่ผิวของชิ้นอาหารสม่ำเสมอมาก การทอดแบบนี้จึงเหมาะกับอาหารที่มีรูปร่างทุกแบบ

2.7 การแช่เยือกแข็ง

การเก็บรักษาอาหารด้วยการแช่เยือกแข็งเป็นที่นิยมแพร่หลาย เนื่องจากวิธีดังกล่าวสามารถรักษาคุณภาพอาหารไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยยังคงรักษากลิ่นรส เนื้อสัมผัสและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการเก็บรักษาอาหารวิธีอื่น ๆ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาแช่เยือกแข็งซึ่งจะต้องมีคุณภาพดี การเตรียมวัตถุดิบก่อนแช่เยือกแข็ง การควบคุมกระบวนการแช่เยือกแข็ง การปฏิบัติต่อผลิตภัณฑ์หลังการแช่เยือกแข็ง การขนส่งและการเก็บรักษาซึ่งจะต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวด (George, 1997)

2.7.1 การเกิดผลึกน้ำแข็ง

โดยทั่วไป การแช่เยือกแข็งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ การเกิดผลึกน้ำแข็ง (ice crystal formation) หรือที่เรียกว่า นิวคลีเอชั่น (nucleation) และการเพิ่มขนาดหรือการเติบโตของผลึก (crystal growth) ซึ่งจะเกิดภายหลังจากการเกิดนิวคลีไอขึ้นในจำนวนที่มากพอค่าหนึ่ง สำหรับอัตราการเติบโตของผลึกจะขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการคือ อัตราที่โมเลกุลน้ำทำปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของผลึก อัตราการแพร่ของโมเลกุลน้ำในอาหารที่ยังไม่แข็งตัวไปยังผลึกและอัตราความร้อนที่ถูกกำจัดออกไป ขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นกับอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง การแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งเร็วจะมีผลในการเพิ่มอัตราเร็วของการเกิดนิวคลีเอชัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไปในอาหาร ส่วนการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะยังคงรักษาอัตราเร็วของการ

กำจัดความร้อนได้ดีกว่า จึงทำให้มีปริมาณของนิวคลีไอน้อยลง ผลึกน้ำแข็งจึงมีขนาดใหญ่ (George, 1997)

2.7.2 **วิธีการแช่เยือกแข็ง**

คุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งนอกจากจะเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติต่อผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งแล้วยังขึ้นกับวิธีการแช่เยือกแข็งด้วยซึ่งจะต้องเหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบระบบและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์อาหารมากมาย ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการแช่เยือกแข็งตามลักษณะการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้ (Persson and Londahl, 1993)

2.7.2.1 **การแช่เยือกแข็งด้วยลมเย็น** (air blast freezing) วิธีนี้อาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งทำโดยนำอาหารซึ่งบรรจุในบรรจุภัณฑ์หรือไม่มีการบรรจุมาแช่เยือกแข็งด้วยอากาศที่มีอุณหภูมิ –18 ถึง –40 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน ส่งผลให้น้ำภายในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น

<u>การแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่ง (still air หรือ sharp freezing)</u> โดยทั่วไปการแช่เยือกแข็งแบบนี้ใช้สำหรับเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งนี้มีลักษณะคล้ายกับห้องเย็นที่มีความสามารถในการเก็บหรือบรรจุผลิตภัณฑ์ในปริมาณมาก นอกจากนี้อาจมีการติดตั้งพัดลมเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศ แต่ก็ไม่ได้มีการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลมไปยังผลิตภัณฑ์ จึงทำให้มีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งต่ำมากและใช้เวลานาน ส่งผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของอาหาร จึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร

<u>การแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า (air blast freezing)</u> เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศเย็นและหมุนเวียนอย่างรุนแรง ทั้งนี้เพื่อช่วยเร่งอัตราเร็วภายในอุโมงค์หรือห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ทิศทางและความเร็วของอากาศเย็น สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ระบบการแช่เยือกแข็งนี้ ได้แก่ tunnel freezer, carrier freezer, spiral freezer, multi-tier freezer เป็นต้น วิธีการแช่เยือกแข็งแบบนี้สามารถใช้ได้กับอาหารทุกชนิดทั้งที่อยู่ในสภาพเป็นอาหารที่ไม่ผ่านการแปรรูปและอาหารที่ผ่านการแปรรูป

<u>การแช่เยือกแข็งในสภาวะอาหารลอยตัว (fluidized-bed freezing)</u> เป็นวิธีที่ได้ดัดแปลงมาจากการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า โดยมีหลักการทำงานคือ อาศัยอากาศเย็นเป่าชิ้นอาหารผ่านชั้นตะแกรงด้วยอัตราเร็วเพียงพอที่จะยกให้ชิ้นอาหารลอยตัว ซึ่งทำให้มี

การถ่ายเทความร้อนมากขึ้น จึงทำให้มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า การแช่เยือกแข็งแบบนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีขนาดเล็กและมีรูปร่างสม่ำเสมอ เช่น เมล็ดข้าวโพด ถั่วลันเตา สตรอเบอรี่ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปอื่น ๆ อีก เช่น French-fried potato, peeled cooked shrimps, diced meat เป็นต้น

2.7.2.2 **การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัส** (contact freezing) สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสโดยตรง (direct-contact freezing หรือ direct immersion freezing) วิธีนี้อาหารจะสัมผัสกับตัวกลางให้ความเย็น (freezing medium) โดยตรง ทำโดยนำอาหารจุ่มลงในสารให้ความเย็นหรือพ่นสารให้ความเย็นที่เป็นของเหลวบนอาหาร สารให้ความเย็นที่ใช้เป็นตัวถ่ายเทความร้อนนี้ ได้แก่ น้ำเกลือ สารละลายของเกลือและน้ำตาล หรือสารละลายที่เป็นของผสมระหว่างน้ำกับสารอื่น ๆ ที่ไม่เป็นพิษ อาหารที่นำมาผ่านระบบการแช่เยือกแข็งแบบนี้อาจบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์หรือไม่ก็ได้ ซึ่งมีข้อดีข้อเสียเกิดขึ้นดังนี้ อาหารที่ไม่บรรจุในบรรจุภัณฑ์เมื่อแช่เยือกแข็งด้วยวิธีนี้ จะทำให้มีน้ำที่กลายเป็นน้ำแข็งเคลือบอยู่ที่ผิวนอกอาหารซึ่งจะช่วยลดหรือป้องกันการสูญเสียน้ำจากอาหารในระหว่างเก็บในภาวะแช่เยือกแข็ง แต่ในขณะเดียวกันของเหลวที่เป็นสารให้ความเย็นที่ติดบนอาหารอาจจะไปมีผลต่อรสชาติของอาหารนั้น เช่น น้ำเกลือจะทำให้อาหารนั้นเกิดรสเค็ม การแช่เยือกแข็งแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ cryogenic media (เช่น คาร์บอนไดออกไซด์หรือไนโตรเจนเหลว) ได้ ซึ่งจะทำให้มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งเร็วอย่างยิ่ง (extremely rapid) (George, 1993 ; Persson and Londahl, 1993)

การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัสโดยอ้อม (indirect contact freezing) วิธีนี้อาหารจะไม่สัมผัสโดยตรงกับสารให้ความเย็น แต่จะสัมผัสกับผิวหน้าของแผ่นโลหะที่มีสารให้ความเย็น เช่น น้ำเกลือเย็นหรือแอมโมเนียไหลเวียนอยู่ภายในช่องว่างของแผ่นโลหะ วิธีนี้เหมาะสำหรับแช่เยือกแข็งอาหารที่บรรจุกล่องที่มีขนาดสม่ำเสมอ เช่น ไอศกรีม เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งจะขึ้นกับชนิดและความหนาของอาหาร (Fennema, 1975)

2.7.2.3 **การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค** (cryogenic freezing) เป็นการแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่ำมาก จึงทำให้มีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งสูงมากจนจัดอยู่ในขั้น ultra rapid freezing (George, 1993) ทำโดยนำอาหารที่ยังไม่บรรจุหรือบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์มาสัมผัสกับสารให้ความเย็น (cryogen) ขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะ ทำให้

อาหารมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว สารให้ความเย็นที่นิยมใช้ในกระบวนการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ได้แก่ ไนโตรเจนเหลวและคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของเหลวและของแห้ง

<u>การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคด้วยไนโตรเจนเหลว</u> ไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็นที่นิยมใช้กันมากในเครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ไนโตรเจนเหลวเป็นก๊าซที่มีความเฉื่อยสูง มีจุดเดือดประมาณ –196 องศาเซลเซียส ณ ความดันบรรยากาศ เมื่อนำมาใช้เป็นสารให้ความเย็น จะทำให้มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งสูงมาก การนำไปใช้งานมี 3 ลักษณะ คือ การนำอาหารจุ่มลงในไนโตรเจนเหลว การพ่นไนโตรเจนเหลวลงบนชิ้นอาหารและการพ่นก๊าซไนโตรเจนที่เย็นจัดลงบนอาหาร การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคด้วยไนโตรเจนเหลวมีข้อดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ คือ มีความสามารถในการนำความร้อนออกจากอาหารได้มากกว่า มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงานมากกว่า เนื่องจากไนโตรเจนเป็นก๊าซส่วนประกอบหลักของอากาศจึงไม่เป็นพิษ ความหนาแน่นน้อยกว่าบรรยากาศทำให้ระบายออกได้เร็วเมื่อเกิดการรั่วไหลออกสู่ภายนอก มีความเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยากับอาหารมากกว่า ค่าการละลายของก๊าซในส่วนประกอบเป็นน้ำของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า ไม่มี carbonic acid taste และไม่ทำให้ pH ของผลิตภัณฑ์ต่ำลง นอกจากนี้ยังทำให้อาหารมีการสูญเสียความชื้นน้อยมาก (Tressler, 1968 ; Miller, 1991)

<u>การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคด้วยคาร์บอนไดออกไซด์</u>

การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการให้ความเย็นแก่อาหารทำได้ 2 วิธี คือพ่นคาร์บอนไดออกไซด์เหลวลงบนอาหารโดยใช้แรงดันสูงผ่านหัวฉีด ซึ่งจะทำให้เกิดเกล็ดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 snow)บนอาหาร และให้ความเย็นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์แข็งโดยนำอาหารสัมผัสโดยตรง (thermice process) สารทำความเย็นชนิดนี้มีข้อดีกว่าไนโตรเจนเหลว คือ มีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ มีการสูญเสียในช่วงการเก็บรักษาและถ่ายย้ายน้อยกว่า ข้อเสียของการใช้คาร์บอนไดออกไซด์คือ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ตกค้างในอาหาร อาจทำให้สมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหารเปลี่ยนไป เช่น เกิด carbonic acid taste (Tressler, 1968 ; Fellows, 1990)

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคนี้เหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารที่อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น fish fillet, shellfish, pastry, burger, meat slice, sausage, pizzas เป็นต้น ข้อเสียของการแช่เยือกแข็งแบบนี้ คือ ทำให้อาหารเกิดรอยแตกที่ผิวหน้าหรือเกิดรอยแตกภายในชิ้นอาหาร (freeze cracking) ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารและสารให้ความเย็น ทำให้อาหารมีคุณภาพลดลงหรือไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค ปัญหาดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยนำผลิตภัณฑ์มา precooling ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง (Hung, 1997)

ข้อเสียอีกประการหนึ่งของระบบนี้ คือ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง (Persson and Londahl, 1993)

2.8 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ดีและเหมาะสม ไม่สามารถรักษาคุณภาพที่ดีไว้ได้หากเก็บไว้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม โดยทั่วไปการเก็บผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งมักเก็บที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า ทั้งนี้เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ที่อาจปะปนอยู่ในอาหาร ดังนั้นการเสื่อมเสียของอาหารจากจุลินทรีย์แทบจะไม่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษายังคงเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี (Golden and Arroyo-Gallyoun, 1997) ดังนี้

2.8.1 **การเกิด** recrystallization เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลึกน้ำแข็งในด้านขนาด รูปร่าง และการเรียงตัว เป็นเหตุให้คุณภาพของอาหารบางชนิดลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วสูง เช่น การแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม (immersion freezing) การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค ที่ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมาก (Pham and Mawson, 1997) การเกิด recrystallization ในอาหารมี 3 ชนิด คือ isomass recrystallization, accretive recrystallization และ migratory recrystallization แต่ที่มีความสำคัญและมักเกิดขึ้นในอาหารมากที่สุด คือ migratory recrystallization โดยเป็นผลให้มีจำนวนผลึกน้ำแข็งลดลง และผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น สาเหตุหลักของการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว คือ อุณหภูมิใช้ในการเก็บรักษาไม่คงที่ ซึ่งเกิดจากการเปิดประตูหรือมีอากาศร้อนจากภายนอกเข้าไปในเครื่องแช่เยือกแข็ง ผิวหน้าของอาหารที่ใกล้แหล่งให้ความร้อนจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นเหตุให้ผลึกน้ำแข็งบางส่วนละลาย โดยผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่จะมีขนาดเล็กลง ส่วนผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กมาก (น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร) จะหายไป การละลายของผลึกน้ำแข็งเหล่านี้ทำให้มีความชื้นและความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น แล้วจึงเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีความดันไอต่ำกว่า ทำให้ส่วนของอาหารที่อยู่ใกล้แหล่งความร้อนมีลักษณะแห้ง และเมื่ออุณหภูมิลดลงอีกครั้ง ไอน้ำเหล่านี้ไม่สามารถจะเกิดเป็นนิวเคลียสใหม่ แต่จะรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งที่เหลืออยู่ ทำให้ขนาดผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้น

2.8.2 **การเกิด** moisture migration เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่มักเกิดขึ้นกับอาหารแช่เยือกแข็ง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีและชีวเคมีของอาหาร นอกจากนี้ยัง

เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ การเกิด moisture migration นอกจากจะมีผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว ยังมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำของอาหารด้วย ยิ่งไปกว่านั้น การเกิด Moisture migration ยังไปเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำหนักของอาหาร (weight loss) ซึ่งมีผลต่อทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยจะไปส่งผลกระทบกับกำไรของบริษัท ตัวอย่างเช่น การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ซึ่งจะสูญเสียไปประมาณ 1-2% ในระหว่างการแช่เย็น, 1%ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง และประมาณ 0.5% ต่อเดือนในระหว่างการเก็บรักษา (Pham and Mawson, 1997) การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาสามารถเกิดขึ้นได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่คงที่ เมื่อผิวหน้าอาหารมีอุณหภูมิต่ำกว่าใจกลางของอาหาร ความชื้นหรือไอน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในไปยังผิวหน้า และถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเกิดขึ้นอีก ไอน้ำเหล่านี้ไม่สามารถที่จะย้อนกลับสู่ตำแหน่งเดิมได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการควบแน่นของน้ำที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ การลดและป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเก็บรักษาให้ต่ำและคงที่ นำอาหารมาบรรจุให้แนบสนิทกับบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ แต่ถึงกระนั้นควรให้มีช่องว่างระหว่างอาหารและบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ไอน้ำสามารถเคลื่อนที่ไปยังช่องว่างและควบแน่นภายในบรรจุภัณฑ์หรือบนผิวหน้าของอาหารในขณะที่ผิวหน้ามีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก (Sahagian and Goff, 1996) นอกจากนี้อาจป้องกันโดยนำผลิตภัณฑ์ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารทะเล) มาเคลือบผิวหน้า (glazing) โดยนำอาหารที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจุ่มลงในน้ำที่มีอุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็ง เพื่อให้เกิดชั้นน้ำแข็งบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ (Pham and Mawson, 1997)

นอกเหนือจากการเกิด recrystallization และ moisture migration ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในภาวะแช่เยือกแข็งแล้วยังเกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ (Fellows, 1990) เช่น

- การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์จะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (Pheophytin) ทำให้ผักมีสีน้ำตาล
- การสูญเสียสารอาหาร เช่น วิตามินซี และกรดแพนโธเทนิค (pantothenic acid)
- การสูญเสียเสถียรภาพของโปรตีน
- การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งทำให้อาหารมีกลิ่นรสเปลี่ยนไป
- การเสียเสถียรภาพทั้งด้านกายภาพและเคมีเชิงฟิสิกส์ของระบบอาหารที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ อิมัลชันและโฟม