บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ผลิตภัณฑ์ไข่เหลวที่ลดคอเลสเทอรอล

ไข่เหลว (Liquid egg) หมายถึง ไข่ที่ผสมกับส่วนผสมอื่น ไข่เหลวทั้งฟอง และไข่เหลวทั้งฟองผสมกับส่วนผสมอื่น (Anon,1984)

ผลิตภัณฑ์ไข่ (Egg product) ในทางปฏิบัติหมายถึง ไข่ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปให้อยู่ในรูปที่สะดวกต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม งานบริการด้านอาหาร และการใช้ในบ้าน (Anon,1984)

ลดคอเลสเทอรอล (Reduced cholesterol) ตามข้อกำหนดการระบุฉลากแสดงคุณค่าทางโภชนาการในอาหาร (Nutrition labeling) โดย US FDA อาหารลดคอเลสเทอรอล หมายถึง อาหารที่มีคอเลสเทอรอลน้อยกว่า 25% ของอาหารชนิดนั้นๆ

ดังนั้นผลิตภัณฑ์ไข่เหลวที่ลดคอเลสเทอรอลในงานวิจัยนี้ จึงหมายถึง ไข่เหลวผสม (Mixed liquid egg) ที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลน้อยกว่า 25% ของไข่ปกติและได้ผ่านกระบวนการแปรรูปให้อยู่ในรูปที่สะดวกต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม งานบริการด้านอาหาร และการใช้ในบ้าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

องค์ประกอบของไข่

ของเหลวในไข่ทั้งฟองประกอบด้วยไข่แดงเหลวประมาณ 36 % และไข่ขาวเหลวประมาณ 64 % (William, 1986) ในแต่ละส่วนมีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่2.1 องค์ประกอบของไข่ขาว ไข่แดงและไข่ทั้งฟอง

ไข่	โปรตีน (%)	ไขมัน(%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	เถ้า(%)
ไข่ขาวเหลว	9.7-10.6	0.03	0.4-0.9	0.5-0.6
ไข่แดงเหลว	15.7-16.6	31.8-35.5	0.2-1.0	1.1
ไข่เหลวทั้งฟอง	12.8-13.4	10.5-11.8	0.3-1.0	0.8-1.0

1. ไข่ขาวเหลว (Liquid egg white)

ไข่ขาวเหลวมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 11-13 % (Romanoff และ Romanoff, 1949 อ้างถึงใน Stadelman และ Cotterill,1986) โดยมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ปริมาณไขมันในไข่ขาวมีน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ไข่ขาวเป็นระบบโปรตีนที่ประกอบด้วยเส้นใยโอโวมิวซิน และโกลบูลาร์โปรตีนหลายชนิด ส่วนประกอบของโปรตีนในไข่ขาวใสและไข่ขาวข้น ต่างกันเฉพาะที่ปริมาณของโอโวมิวซิน (William,1986)

โปรตีนที่สำคัญในไข่ขาว ได้แก่ โอวัลบูมิน(Ovalbumin) คอนอัลบูมิน (Conalbumin) หรือ โอโวทรานส์เฟอริน (Ovotransferrin) โอโวมิวคอยด์(Ovomucoid) ไลโซไซม์(Lysozyme) โอโวมิวซิน(Ovomucin) และโปรตีนชนิดอื่น ๆ

โอวัลบูมิน เป็นส่วนของโปรตีนที่มีมากในไข่ขาว จัดเป็นพวกฟอสโฟไกลโคโปรตีน เพราะมีคาร์โบไฮเดรตและหมู่ฟอสเฟตเกาะอยู่กับสายโพลีเปปไทด์ ในหนึ่งโมเลกุลมีหมู่ซัลไฟดริล 4 หมู่และไดซัลไฟด์ 2 หมู่ (Winzor และ Creeth,1962) โอวัลบูมินในสารละลายจะสูญเสียสภาพได้อย่างรวดเร็วและเกิดการตกตะกอน (Coagulation) เมื่อมีการตีกวน แต่จะทนต่อการเสียสภาพด้วยความร้อน พบว่าที่ pH 9 อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เวลา 3.5 นาที โอวัลบูมินเพียง 3-5 % เท่านั้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Lineweaver,Cunningham,Garibaldi และ Ijichi,1967 อ้างถึงใน Stadelman และ Cotterill,1986)

คอนอัลบูมินหรือโอโวทรานส์เฟอริน เป็นไกลโคโปรตีน ไม่มีหมู่ฟอสฟอรัสหรือซัลไฟดริลในโมเลกุล ทนต่อความร้อนน้อยกว่าโอวัลบูมิน แต่จะสูญเสียสภาพที่ผิวเมื่อมีการตี

กวนน้อยกว่าโอวัลบูมิน (William,1986) มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียโดยการจับกับเหล็ก

โอโวมิวคอยด์ เป็นไกลโคโปรตีนที่ทนต่อความร้อน สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน เมื่ออยู่ในตัวกลางที่เป็นกรด แต่ในสารละลายด่าง โปรตีนจะสูญเสียสภาพอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (Lineweaver และ Murray,1947)

ไลโซไซม์ เป็นเอนไซม์ที่สามารถทำลายเซลของแบคทีเรีย และสามารถย่อยโปรตีนไข่ขาวข้นให้เป็นไข่ขาวใส ทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล ในสายโพลีเปปไทด์ประกอบด้วยกรดอะมิโน 129 ตัว เชื่อมต่อด้วยพันธะไดซัลไฟด์ 4 พันธะ (Jolles,Jauregui-Adell,Bernier และ Jolles,1963 อ้างถึงใน Graham,1977) การทำลายเอนไซม์นี้โดยใช้ความร้อน ขึ้นกับ pH และอุณหภูมิ ไลโซไซม์ในไข่ขาวจะทนความร้อนได้น้อยลงเมื่ออยู่ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7-9 (Cunningham และ Lineweaver,1965)

โอโวมิวซิน เป็นไกลโคโปรตีน ที่มีความสำคัญในระบบเส้นใยโปรตีนของไข่ขาวข้น มีส่วนในการทำให้ไข่ขาวข้นมีลักษณะคล้ายเจล (Gel-like structure) โปรตีนนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในสารละลายเกลือเจือจางที่ pH 7 หรือมากกว่า (William,1986) ถ้าไข่ขาวข้นมีปริมาณโอโวมิวซินและความยาวของเส้นใยมิวซินสูง จะทำให้ไข่ขาวข้นนั้นมีความหนืดสูงด้วย (Forsythe และ Bergquist , 1951 อ้างถึงใน Graham,1977))

โอโวมิวซินและไลโซไซม์สามารถเกิดสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ โดยแรงกระทำทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic interaction) ที่มีต่อกัน ที่ pH เพิ่มขึ้นจาก 7.2 เป็น 10.4 แรงกระทำระหว่างโปรตีน 2 ชนิดนี้จะลดลง และที่ pH เข้าใกล้จุดไอโซอิเลคตริก (pI=10.7) ของไลโซไซม์ สารเชิงซ้อนนี้จะลดลง เชื่อกันว่าสารเชิงซ้อนนี้มีบทบาทสำคัญในการทำให้ไข่ขาวข้นมีความใสมากขึ้นในระหว่างการเก็บ เพราะไข่ที่เก็บไว้จะมีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ pH เพิ่มสูงขึ้น สารเชิงซ้อนนี้จึงลดลง ปริมาณไข่ขาวใสจึงสูงขึ้น

โปรตีนอื่น ๆ ในไข่ขาว ได้แก่ อะวิดิน(Avidin) โอโวโกลบูลิน(Ovoglobulin) โอโวอินฮีบิเตอร์(Ovoinhibitor) และแฟลโวโปรตีน (Flavoprotein)

2. ไข่แดงเหลว (Liquid egg yolk)

ไข่แดงเหลวมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณ 50 % (Marion ,Nordskag,Iolman และ Forsythe ,1964 ; Rose และ Fletcher, 1966) ขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บ ไข่แดงจากไข่สดมีปริมาณของแข็ง 52-53 % แต่จะลดลง 2 % เมื่อเก็บไข่ในตู้เย็นเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ ทั้งนี้เพราะน้ำจากไข่ขาวเคลื่อนเข้าไปในไข่แดงโดยแรงดันออสโมซิส (Osmotic pressure) ที่เกิดจากความเข้มข้นของไข่แดงมากกว่าไข่ขาว (Marion และคณะ , 1964) องค์ประกอบสำคัญของไข่แดงคือโปรตีนและไขมัน ปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 15.7-16.6 % และ

ปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 31.8-35.5 % (William, 1986) โปรตีนในไข่แดงจะอยู่รวมกับไขมันในรูปของไลโพโปรตีน (Lipoprotein) (Weinman,1956 อ้างถึงใน Graham,1977) Cook (1961) อ้างถึงใน Graham(1977) แบ่งไลโพโปรตีนในไข่แดงเป็น 2 ชนิด คือไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein) และไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (High density lipoprotein)

ไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ ได้แก่ Lipovitellenin มีไขมันประมาณ 40 % โปรตีนน้อยกว่า 33% ส่วนไลโพโปรตีนความหนาแน่นสูง ได้แก่ α และ β - lipovitellin มีไขมันประมาณ 20% โปรตีนมากกว่า 33% (Cook และ Martin,1962) ไขมันในไข่จะพบเฉพาะในส่วนของไข่แดงเท่านั้น ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 65.5 % ฟอสฟอลิปิด 28.3 % คอเลสเทอรอล 5.2 % หรือประมาณ 210 มิลลิกรัมต่อไข่ขนาด 50 กรัม 1 ฟอง (Stadelman และคณะ , 1990) และไขมันชนิดอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย กรดไขมันที่พบเป็นชนิดอิ่มตัวค่อนข้างสูงและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่ำ (Noble,1987) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่2.2 ปริมาณคอเลสเทอรอล กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไข่แดง

สารอาหาร	ไข่แดง
Cholestreol esters[a]	1.3
Free cholesterol[a]	4.9
Linoleic acid[b]	15.9
Linolenic acid[b]	1.0
C_{20} & C_{22} polyunsaturates[b]	3.2
Total saturates[b]	34.2
P /S ratio	0.55

[a] % of total lipid

[b] % of total fatty acids

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่าไข่แดงมีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวต่อกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 0.55 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ต่ำ หรือกล่าวได้ว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวมีประมาณครึ่งหนึ่งของกรดไขมันอิ่มตัว

หากพิจาณาในแง่คุณภาพโปรตีน ไข่จัดได้ว่าเป็นอาหารโปรตีนคุณภาพสูง เนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential amino acid) ครบถ้วน (Stadelman และ Pratt, 1989) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดและปริมาณเป็นกรัมของกรดอะมิโนในไข่ขาว ไข่แดง และไข่ทั้งฟอง โดยคิดต่อไข่ไก่ขนาด 50 กรัม 1 ฟอง

กรดอะมิโน	ไข่ขาว	ไข่แดง	ไข่ทั้งฟอง
Tryptophan	0.051	0.041	0.097
Threonine	0.149	0.151	0.298
Isoleucine	0.204	0.160	0.380
Leucine	0.291	0.237	0.533
Methionine	0.130	0.171	0.196
Cystine	0.083	0.050	0.145
Phenylalanine	0.210	0.121	0.343
Tyrosine	0.134	0.120	0.253
Valine	0.251	0.170	0.437
Arginine	0.195	0.193	0.388
Histidine	0.076	0.067	0.147
Alanine	0.215	0.140	0.354
Aspartic acid	0.296	0.233	0.602
Glutamic acid	0.467	0.341	0.773
Glycine	0.125	0.084	0.202
Proline	0.126	0.116	0.241
Serine	0.247	0.231	0.461

ไขมัน คอเลสเทอรอลและโรคหัวใจขาดเลือด

จากสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวต่อกรดไขมันอิ่มตัวต่ำ และปริมาณคอเลสเทอรอลในไข่แดงที่สูงดังกล่าว ทำให้ไข่เป็นอาหารที่เสี่ยงต่อการเพิ่มระดับคอเลสเทรอลในเลือดได้ ดังนั้นในปี ค.ศ. 1988 The National Cholesterol Education Program (NCEP) จึงได้แนะนำการบริโภคอาหาร สำหรับผู้ที่มีความเสี่ยงสูงคือมีระดับคอเลสเทอรอลในเลือด $\geq$ 240 mg/dl (High risk) และผู้ที่มีความเสี่ยงค่อนข้างสูงคือมีระดับคอเลสเทอรอลในเลือด 200-239 mg/dl (Borderline high risk) (Shils และคณะ , 1994) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่2.4 NCEP Dietary recommendation

Nutrient	Current intake	Recommended intake	
		Borderline high risk	High risk
Total fat (%)	37 %	< 30%	<30%
Saturated FA	13 %	< 10%	<7%
Monounsaturated FA	14%	10-15%	
Polyunsaturated FA	7%	=< 10%	
Carbohydrate	46%	50-60%	
Protein	16%	10-20%	
Cholesterol (mg / day)	370	< 300	<200
Calories	To achieve/ maintain desirable weight		

* As percentage of total digested calories

จากตารางที่ 2.4 จะพบว่านอกจากการแนะนำสารอาหารหลักที่ให้พลังงาน คือไขมัน คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนแล้ว ยังมีการแนะนำปริมาณคอเลสเทอรอลที่ผู้บริโภคควรได้รับ ซึ่งสรุปได้ว่า ผู้บริโภคที่มีความเสี่ยงค่อนข้างสูง ควรได้รับพลังงานจากไขมันน้อยกว่า 30 % ของพลังงาน ทั้งนี้เป็นพลังงานจากกรดไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า 10 % และกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวไม่เกิน 10 % ของพลังงาน ส่วนปริมาณคอเลสเทรอลควรได้รับน้อยกว่า 300 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งต่ำกว่าปริมาณคอเลสเทอรอลที่ผู้บริโภคปกติควรได้รับ ส่วนในผู้ที่มีความเสี่ยงสูงควรได้รับพลังงานจากไขมันน้อยกว่า 30 % ของพลังงาน ทั้งนี้เป็นพลังงานจากกรดไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า 7 % และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสายยาวไม่เกิน10%ของพลังงาน ส่วนปริมาณคอเลสเทรอลน้อยกว่า 200 มิลลิกรัมต่อวัน จะเห็นว่าปริมาณคอเลสเทอรอลในไข่ 1ฟอง ซึ่งเท่ากับ 210 มิลลิกรัม (Stadelman และคณะ,1990) หรือเท่ากับ 252 มิลลิกรัม(Noble,1987)นั้น จัดได้ว่าเป็นแหล่งของอาหารที่ให้ปริมาณคอเลสเทอรอลสูง ซึ่งในการบริโภคอาหารประจำวัน คนเรามีโอกาสได้รับคอเลสเทอรอลจากอาหารอื่น ๆ (Robison และ Marilyn,1977) ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่2.5 ปริมาณคอเลสเทรอลในอาหาร

ชนิดอาหาร	ปริมาณ (กรัม)	คอเลสเทอรอล (มิลลิกรัม)
น้ำนม	240	34
น้ำนมพร่องไขมัน	245	5
เนื้อวัวไม่ติดมัน (สุก)	100	90
เนื้อหมูไม่ติดมัน (สุก)	100	86
อกไก่ (สุก)	100	80
อกไก่ไม่ติดมัน (สุก)	100	78
น่องไก่ (สุก) 1 ขา	52	47
ไข่ไก่ 1 ฟอง	50	252
ไข่ขาว	33	0
ไข่แดง	17	252
เนย	100	250
เนยแข็ง	100	100
ปลาทูน่า	100	64
เนื้อปู (สุก)	100	80
กุ้ง (สุก)	100	150
ปลาซาดีนไม่มีมัน	100	140
ไส้กรอก (1ชิ้น)	56	34
หอยแมลงภู่	100	52
หอยนางรม	100	200
ตับหมู-วัว	100	437
ตับไก่	100	747
สมอง	100	>2,000

นอกจากปริมาณคอเลสเทอรอลที่ได้รับจากอาหารสูงเกินไปแล้ว หากในเลือดมีสัดส่วนของ LDL / HDL(Low density lipoprotein / High density lipoprotein) สูงด้วยแล้ว จะมีปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดจากการบริโภคอาหาร (Robison และ Marilyn,1977) ซึ่งโรคนี้มีอัตราการตายเป็นอันดับ 1 และมีอัตราการตายเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (กองสถิติสาธารณสุข, 2535)

หน้าที่ของส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ไข่เหลวที่ลดคอเลสเทอรอล

การแยกไข่แดงออกจากไข่ขาวเหลวแล้วนำไข่ขาวที่แยกได้มาปรุงประกอบเป็นอาหาร เช่น Scrambled egg , Omelet , ไข่เจียว พบว่าผลิตภัณฑ์ไข่ที่ปรุงประกอบได้มีเนื้อสัมผัสไม่เป็นที่น่าพอใจ คือเหนียวเหมือนยาง (Rubbery) หรือให้ลักษณะเป็นเจล (Gelatinous type) ร่วน (Mealy) และแข็งเกินไป (Firm) ทั้งยังมีกลิ่นรสจืดชืด (Bland) สีขาวซีด(Seeley และ Seeley,1977 : Seeley,Hartmann และ Sidoti,1976) จึงควรมีการเพิ่มส่วนผสมอื่น ๆ ลงในไข่ขาวที่แยกไข่แดงดังกล่าว ส่วนผสมที่สำคัญได้แก่ สารที่ใช้ทดแทนโปรตีนในไข่แดง สารให้ความคงตัว นอกจากนี้อาจมีการใช้สารให้กลิ่นรส สี ไข่แดง น้ำมันพืช เพื่อเสริมลักษณะของผลิตภัณฑ์ไข่ที่ได้ให้ใกล้เคียงกับไข่ทั้งฟองมากขึ้น ทั้งนี้ยังคงใช้ไข่ขาวเหลวเป็นส่วนผสมหลักของผลิตภัณฑ์

1. ไข่ขาวเหลว (Liquid egg white) เป็นแหล่งโปรตีนหลักของผลิตภัณฑ์ ให้สมบัติในการทำหน้าที่ไข่ที่ต้องการ ปริมาณที่ใช้ได้ตั้งแต่ 24-95.5 % ปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40-95% และปริมาณที่เหมาะสมมากที่สุดในช่วง 70-90% โดยน้ำหนัก (Strong และ Redfern , 1974)

สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการนำไข่ขาวไปใช้งาน (Functional properties of egg white) (**Stadelman,1977**) ได้แก่ การแข็งตัวและการเกิดเจล (Coagulation / Gelation) การเกิดโฟมและเสถียรภาพของโฟม (Foam formation and stability) คุณค่าทางโภชนาการ (Nutritional contribution)

การแข็งตัวและการเกิดเจล เป็นปรากฏการณ์ที่ไข่ขาวที่ได้รับความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงคือลักษณะปรากฏสีขาวคล้ายนมและมีการสร้างเจลที่ถาวรเพื่อให้โครงสร้างแก่อาหาร (Thermo-iirrersible gel coagulum) (Yoshinori,1995)

ความร้อนจะเหนี่ยวนำให้โปรตีนธรรมชาติเกิดการคลายพันธะไฮโดรเจน (H-bond) และพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) เมื่อให้ความร้อนต่อ โอวัลบูมิน คอนอัลบูมินและไลโซไซม์จะเกิดปฏิกิริยาต่อกันมีการจัดเรียงโครงสร้างภายในโมเลกุลแบบ β - sheet ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญของโปรตีนที่เสียสภาพด้วยความร้อนและเกิดการรวมกันของโปรตีนไข่ขาวแบบโครงร่างตาข่าย (Network) ด้วยพันธะไฮโดรเจน แรงกระทำทางไฟฟ้าสถิต และ Hydrophobic interaction ภายในโมเลกุลเกิดเป็นเจล ส่วนพันธะไดซัลไฟด์ภายในโมเลกุลมิได้ทำให้เกิดเจล แต่สามารถช่วยให้เจลมีเสถียรภาพ

การเกิดโฟมและเสถียรภาพของโฟม สมบัตินี้พิจารณาจาก Foam capacity และ Foam stability ที่เกิดขึ้นเป็นสำคัญ ซึ่งไข่ขาวเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมในอาหารที่ดี การตีไข่ขาว

ให้ขึ้นฟูเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้วัฏภาคกาซแพร่กระจายเข้าไปในวัฏภาคของเหลว โดยฟองอากาศจะถูกจับไว้ในของเหลวของไข่ขาวและเกิดฟองฟูขึ้น ของเหลวในไข่ขาวดังกล่าวมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีนโอวัลบูมิน และโอโวมิวซิน แรงกลจากการตีจะทำให้โมเลกุลของโปรตีนคลายเกลียวออก โปรตีนบางส่วนของไข่ขาวจึงละลายน้ำได้น้อยลงหรือแข็งตัว ฟองอากาศที่ตีเข้าไปจะถูกฟิล์มที่เกิดจากโปรตีนโอโวมิวซินหุ้มไว้รอบ ๆ ทำให้ฟองอากาศอยู่ตัว มีเสถียรภาพ ส่วนโอวัลบูมินช่วยทำให้ไข่ขาวมีความหนืดและลดแนวโน้มของของเหลวที่จะแยกตัวจากฟองอากาศ และช่วยลดแรงตึงผิวทำให้การเกิดฟองอากาศในขั้นแรกเกิดง่ายขึ้น Bergquist (1987) อ้างถึงใน Matz (1989) ทดลองแยกโอโวมิวซินออกจากไข่ขาว แล้วนำไข่ขาวที่ได้มาทำเค้ก พบว่าเค้กยังมีปริมาตรที่ดี แต่เนื้อสัมผัสหยาบ หรือถ้าไข่มีโอวัลบูมินตัวเดียว จะต้องใช้เวลาในการตีนานและให้เนื้อสัมผัสหยาบ ปริมาตรต่ำ จึงควรมีทั้งโอวัลบูมินและโอโวมิวซินในไข่ขาว จะทำให้สมบัติการขึ้นฟูและสมบัติอื่น ๆ ของไข่ขาวกลับสู่ปกติ ถ้ามีไข่แดงปนอยู่ในไข่ขาว ไข่แดงจะขัดขวางการขึ้นฟูของไข่ขาว ทำให้ใช้เวลาตีนานและได้ปริมาตรน้อย

สมบัติการเกิดโฟมที่ดี ซึ่งพิจารณาจาก Foam capacity และ Foam stability ดังกล่าวข้างต้น เกิดจากแรงต่าง ๆ แต่แรงกระทำทางไฟฟ้าสถิต เป็นแรงที่มีความสำคัญมากที่สุดโดยจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะ Foam stability ของโปรตีน (Yoshinori, 1995) ส่วนแรงจาก Hydrophobic เป็นแรงที่มีส่วนสำคัญโดยจะมีความสัมพันธ์กับ Foam capacity ของโปรตีน Li-Chan และ Nakai, 1989 อ้างถึงใน Yoshinori,1995)

คุณค่าทางโภชนาการ ไข่ขาวเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพ ให้กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบถ้วนและปราศจากไขมัน จึงเหมาะที่ใช้เป็นแหล่งสารอาหารโปรตีนในอาหาร นอกเหนือจากสมบัติอื่นที่ต้องการ

2. สารที่ใช้ทดแทนโปรตีนในไข่แดง ใช้สำหรับทดแทนโปรตีนที่หายไปจากการลดปริมาณไข่แดงลง ได้แก่ นมผงขาดมันเนย ไข่ขาวผง และผลิตภัณฑ์โปรตีนที่แยกได้จากถั่วเหลือง

2.1 นมผงขาดมันเนย (Skim milk powder) มีโปรตีนประมาณ 33.3% ไขมันไม่เกิน 8% และคาร์โบไฮเดรตประมาณ 52.3% จัดเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงรองจากไข่ เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซนต์กรดอะมิโนที่จำเป็น และ Protein Efficiency Ratio (PER) (Boldt,1981) นมผงขาดมันเนยสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ไข่ เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ดี ไม่เกิดตะกอนที่อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อน เช่น กระบวนการ Preheat ที่อุณหภูมิ 135-140 องศาฟาเรนไฮต์ (57.2-60 องศาเซลเซียส) หรือกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน ที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 148 องศาฟาเรนไฮต์ (64.4องศาเซลเซียส) ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 3.5 นาที (Jones,1969) ช่วยลดการแยกน้ำที่ออกจากผลิตภัณฑ์ที่ปรุงสุกแล้ว (Syneresis) และช่วยให้ผลิตภัณฑ์ Scrambled egg มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับที่ปรุงประกองจากไข่ทั้งฟอง ปริมาณที่ใช้

แปรได้ตั้งแต่ 0.1-10% และปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3-8% (Strong และ Redfern,1975) ถ้าใช้มากไปจะมีผลต่อกลิ่นรส ความหนืดของส่วนผสม ทั้งยังเป็นการเพิ่มแคลอรี่ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานที่ไม่เป็นธรรมชาติของไข่ เนื่องจากแลคโตสในนม (Boldt,1981)

2.2 ไข่ขาวผง (Egg albumen solids) มีโปรตีนประมาณ 75% (บริษัทผลิตภัณฑ์ไข่แปดริ้ว จำกัด) ใช้ในผลิตภัณฑ์ไข่ได้ในปริมาณน้อยกว่า 3% ถ้าหากใช้ปริมาณมากกว่านี้ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแข็งและเหนียวเหมือนยาง เมื่อนำมาปรุงประกอบอาหาร (Seeley และ Seeley,1977)

2.3 ผลิตภัณฑ์โปรตีนที่แยกได้จากถั่วเหลือง มีโปรตีนประมาณ 74.9% ไขมันประมาณ 1.0% และคาร์โบไฮเดรตประมาณ 15.1% ละลายน้ำได้ดี ไม่ตกตะกอนขณะที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชั่น สามารถทำหน้าที่เสมือน Binder เช่นเดียวกับโปรตีนในไข่ทั้งฟอง (Jones,1969) แต่มีกลิ่นรสเฉพาะตัว จึงใช้ได้ปริมาณน้อย ประมาณ 0.9% โดยน้ำหนัก (Boldt,1981)

3. สารให้ความคงตัว (Stabilizer) ช่วยป้องกันหรือขัดขวางการแยกตัวของส่วนผสม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากไข่สดทั้งฟอง เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกแช่เยือกแข็งหรือละลายน้ำแข็งจะไม่เกิดผลึกน้ำแข็ง และน้ำที่แยกออกจากผลิตภัณฑ์ จึงเป็นการป้องกันลักษณะเนื้อสัมผัสที่หยาบเนื่องจากผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ไข่เหลวที่ไม่มีคอเลสเทอรอลส่วนใหญ่จะใช้ Carboxymethyl cellulose (CMC) เป็นสารให้ความคงตัว (Jones,1969; Strong และ Redfern,.1975; Seeley และ Seeley,1977) นอกจากนี้มีการใช้ CMC ร่วมกับ Calcium carrageenan ทั้งนี้ขึ้นกับการปรับปรุงและพัฒนาสูตรของผลิตภัณฑ์

3.1 CMC เป็นโพลีแซคคาไรด์ ละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ให้ความหนืดที่มีค่าแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของ CMC และ pH พบว่า CMC ที่ความเข้มข้น 2% มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 10-50,000 cps. และมีเสถียรภาพของ CMC อยู่ในช่วง pH 5-11โดยเสถียรภาพดีที่สุดที่ pH 7-9 (Furia,1972) นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการเป็นคอลลอยด์ที่ดีเหนือสารให้ความคงตัวหลายชนิด เนื่องจาก CMC สามารถรวมส่วนผสมที่เป็นของแข็งให้เข้ากันกับส่วนของเหลว ทำให้ผลิตภัณฑ์ไข่มีความข้นหนืดและเสถียรภาพดีเมื่ออยู่ในรูปของสารละลายไข่ (Jones,1969)

3.2 Carrageenan เป็นโพลีแซคคาไรด์ ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง มีหมู่ซัลเฟตและกาแลคโตสเป็นองค์ประกอบ ชนิดที่สำคัญแบ่งได้ 3 ชนิดตามจำนวนและตำแหน่งของหมู่ซัลเฟต ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัส ได้แก่ Kappa, Iota(calcium) และ Lambda-carrageenan สำหรับ Kappa-carrgeenan มีซัลเฟต 1 หมู่ต่อกาแลคโตส 2 หน่วย ละลายได้เฉพาะในน้ำร้อนเท่านั้น Iota-carrageenan มีหมู่ซัลเฟต 2 หมู่ต่อกาแลคโตส 2 หน่วย บางส่วนละลายได้ในน้ำ

เย็น บางส่วนละลายได้ในน้ำร้อน และ Lambda-carrageenan มีซัลเฟต 3 หมู่ต่อกาแลคโตส 2 หน่วย ละลายได้ในน้ำเย็น หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วปล่อยให้เย็น Lambda-carrgeenan จะให้ความข้นหนืด ขณะที่ Iota และ Kappa-carrgeenan จะให้เจล (Blanshard และ Mitchell,1978) ในงานวิจัยไข่ปราศจากคอเลสเทอรอลของ Seeley และ Seeley (1977) พบว่าควรใช้ Iota-carrgeenan ร่วมกับ CMC เนื่องจากเจลที่ได้มีลักษณะยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม และไม่เกิด Syneresis ขณะที่ Kappa-carrgeenan ให้เจลที่แข็ง เปราะ และทำให้เกิด Syneresis โดยปริมาณ Iota-carrgeenan ที่ใช้ประมาณ 0.15-0.5 % โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

4 สารให้กลิ่นรสเมื่อประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์ไข่เหลวอาจมีการเติมสารให้กลิ่นรส ได้แก่ Yeast extract (Seeley และ Seeley,1977) Monosodium glutamate, Disodium inosinste, Disodium guanylate โดยอาจใช้ลักษณะผสมหรือแยกเดี่ยว (Seeley และ Seeley,1977 ;Seeley, Hartman และ Sidoti,1977) หรืออาจช่วยเสริมกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยกลิ่นรสที่ได้จากการทอดผลิตภัณฑ์ไข่ในเนย กลิ่นเนยจะเด่นกว่าสารให้กลิ่นรสอื่น ๆ ที่ใส่ลงในผลิตภัณฑ์ (Boldt,1981)

5 สี สีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ ควรเป็นส่วนผสมของ β-Carotene และ Xanthophylls (Strongและ Redfern,1974) หรืออาจใช้ FD&C yellow No.5 และ No. 6 (Boldt,1981)

6 ไข่แดง (Egg yolk) จะใช้ปริมาณเล็กน้อยพอที่รักษากลิ่นรสที่แท้จริงของไข่ไว้ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับมากขึ้น นอกจากนี้ด้วยสมบัติในการเป็น Emulsifier ที่ดี จึงช่วยให้ส่วนผสมเป็นอิมัลชั่น เมื่อมาปรุงประกอบจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ต้องการมากขึ้นด้วย Seeley (1974) พบว่าปริมาณที่เหมาะสมคือใช้อย่างน้อย 8% ส่วน Jones (1969) แนะนำว่าควรใช้ในช่วง 1/5 - 1/2 ของที่มีในไข่เหลวทั้งฟอง นั่นคือประมาณ 6-15 % ไข่แดง

7 น้ำมันพืช ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ไข่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้าน Mouth feel เป็นปกติ (Subtle) และเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับ Scrambled whole egg (Strong และ Redfern,1975 :Gorman,Stearns และ Weisberg,1965) นอกจากนี้ยังช่วยละลายส่วนผสมบางตัวที่ละลายในน้ำมัน เช่น Lecithin, Emulsifier, สี และช่วยป้องกันการเกิดฟองของไข่ขาวขณะที่ตีปั่นกับส่วนผสมอื่น น้ำมันพืชที่ใช้ควรเลือกใช้ชนิดที่ไม่มีคอเลสเทอรอลและไขมันอิ่มตัวต่ำ ได้แก่ น้ำมันจากเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันจากดอกทานตะวัน เป็นต้น

กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

1. ขั้นตอนการผลิตโดยทั่วไป

ผลิตภัณฑ์ไข่เหลวสามารถทำได้โดยนำส่วนผสมซึ่งประกอบไปด้วย ไข่ขาวเหลว สารทดแทนโปรตีน สารให้ความคงตัว (ชนิดและปริมาณแล้วแต่สูตร) สารปรุงแต่งกลิ่นรส และสีมาปั่นผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่อง Blender (Strong และ Redfern,1975; Seeley,1974; Jones,1969) โดยStrong และ Redfern (1975) นำผลิตภัณฑ์ไข่เหลวที่ปั่นผสมได้นี้ไปผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ 2,000 psi ได้ผลิตภัณฑ์ไข่เหลวที่มีลักษณะเนียนและผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Smooth และ Homogeneous)ที่อาจนำไปผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชั่น ที่อุณหภูมิเหมาะสม 136 องศาฟาเรนไฮต์ (57.8 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นทันที บรรจุในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม เก็บในที่อุณหภูมิต่ำหรือแช่แข็ง ส่วน Seeley (1974) นำส่วนผสมที่ปั่นได้ไปแช่แข็งประมาณ 2 สัปดาห์ และนำมาละลาย ปรุงประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสำหรับบริโภค และ Jones(1969) นำผลิตภัณฑ์ที่ปั่นเข้ากันแล้วผ่านความร้อนเริ่มต้น (Preheat) 135-140 องศาฟาเรนไฮต์ (57.2-60 องศาเซลเซียส) แล้วเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ 1,500 psi จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านความร้อนโดยเร็ว (Flashing) ที่ 161-165 องศาฟาเรนไฮต์ (72-74 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2-5 วินาที ลดอุณหภูมิภายใต้ภาวะสุญญากาศ 150 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วทำให้เย็น 38-40 องศาฟาเรนไฮต์(3.3-4.4 องศาเซลเซียส) และนำไปทำแห้งภายใต้ภาวะสุญญากาศ เวลาใช้นำมาเติมน้ำในสัดส่วนที่กำหนดใช้แทนไข่ทั้งฟอง

2 วิธีการแช่แข็ง (Fennema,1973)

2.1 Air blast freezing เป็นวิธีแช่แข็งที่อาศัยลมเย็นเป็นตัวกลางเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงประมาณ 100-3,500 ฟุต/นาที (Fennema,1975) พัดหมุนเวียนอยู่เหนือผลิตภัณฑ์ ลมเย็นระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำลง เครื่องแช่แข็งนี้สามารถทำแบบต่อเนื่องได้ โดยส่งผลิตภัณฑ์ผ่านไปตามสายพานที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าห้องแช่แข็ง หรือแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้แรงงานคนจัดวางผลิตภัณฑ์ลงบนถาดแล้วนำไปวางในห้องแช่แข็ง

ข้อดีของวิธีแช่แข็งด้วย Air blast freezing คือ เป็นวิธีแช่แข็งที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน

ข้อเสียของวิธีแช่แข็งด้วย Air blast freezing คือ ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำหนักมากขณะแช่แข็ง ถ้าไม่มีการบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุก่อนการแช่แข็ง

2.2 Plate freezing วิธีนี้เป็นการให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับผิวหน้าของแผ่นโลหะที่เย็น ซึ่งอาจใช้น้ำเกลือเย็น หรือไอเย็นจากสารให้ความเย็น เช่น แอมโมเนีย R-12 หรือ R-22 ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อแล้วอาจวางอยู่บนโลหะเย็น หรืออาจถูกอัดอยู่ระหว่างแผ่นโลหะเย็น 2 แผ่นก็ได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่บรรจุในภาชนะอาจจะแช่เยือกแข็งโดยใช้ถังเย็นที่เคลื่อนที่ช้า ๆ หรืออาหารที่เป็นของเหลว เช่น ไอศกรีม น้ำผลไม้ อาจแช่เยือกแข็งในเครื่องถ่ายเทความร้อนทรงกระบอกก็ได้ ความร้อนจากผลิตภัณฑ์จะระบายออกโดยตรงด้วยวิธีการนำความร้อนด้วยแผ่นโลหะเย็น การสัมผัสกับแผ่นโลหะเย็นนี้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีมาก ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะลดลง เมื่อความหนาของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

ข้อดีของวิธีแช่แข็งด้วยแผ่นโลหะเย็น คือ ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งด้วย Air blast freezing เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ สามารถปรับแผ่นโลหะให้แนบกับผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้ดีและไม่ทำให้อาหารที่บรรจุหีบห่อเกิดลักษณะโป่งหรือบวม

ข้อเสียของการแช่แข็งด้วยโลหะเย็น คือ ผลิตภัณฑ์ต้องมีความสม่ำเสมอ และจะมีอัตราเร็วของการแช่แข็งช้า ถ้าบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุที่มีช่องว่างอากาศ

2.3 Liquid immersion freezing เป็นวิธีแช่แข็งที่มีการใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เช่น ไก่และสัตว์ปีกต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่แข็งจะบรรจุหรือไม่บรรจุในภาชนะบรรจุก็ได้ จุ่มผลิตภัณฑ์ลงในสารละลายที่เย็นจัด เช่น Propyleneglycol , Glycerol , Sodium chloride , Calcium chloride หรือสารละลายผสมของเกลือและน้ำตาล แม้ว่าวิธีนี้จะไม่ค่อยแพร่หลาย แต่ก็ใช้เป็นวิธีแช่เยือกแข็งสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้นกระป๋อง ผลิตภัณฑ์สัตว์ปีก โดยเฉพาะระยะเริ่มต้นของอาหารแช่เยือกแข็งและบางครั้งก็ใช้กับปลาและกุ้ง การแช่แข็งด้วยวิธีนี้ทำให้เกล็ดน้ำแข็งกระจายทั่วผิวของผลิตภัณฑ์ เกิดการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวได้ดีมาก ทำให้สีผิวของผลิตภัณฑ์ขาวน่าดู

ข้อดีของการแช่แข็งด้วยการจุ่มลงในสารละลายเย็น คือ มีอัตราการแช่แข็งเร็ว โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีการบรรจุในหีบห่อหรือมีขนาดไม่ใหญ่มาก และน้ำแข็งที่หุ้มผิวของผลิตภัณฑ์จะช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถปรับให้เป็นระบบต่อเนื่องได้ค่อนข้างง่าย

ข้อเสียของวิธีแช่แข็งด้วยการจุ่มลงในสารละลายเย็น คือ ต้องเลือกตัวทำความเย็นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เช่น สารละลาย Glycol ควรใช้กับผลิตภัณฑ์พวกสัตว์ปีก สารละลายน้ำตาล ควรใช้กับผลไม้จำพวก Berries หรือสารละลายเกลือ ควรใช้กับผลิตภัณฑ์จำพวกเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะปลา เป็นต้น (Bose และ Sengupta,1987)

2.4 Cryogenic freezing เป็นวิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็วของการแช่แข็งเร็วมาก ผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาแช่แข็งจะบรรจุในภาชนะที่เป็นแผ่นฟิล์มบางหรือไม่บรรจุในภาชนะก็ได้ นำมาสัมผัสกับตัวทำความเย็นที่เย็นจัดแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของตัวทำความเย็น เนื่องจากความร้อนที่ระบายออกจากผลิตภัณฑ์ วิธีนี้จะแตกต่างจากการแช่แข็งโดยการจุ่มลงในสารละลายเย็นในเรื่องการเปลี่ยนสถานะของตัวทำความเย็น ดังนี้ วิธีการจุ่มลงในสารละลายเย็น ตัวทำความเย็นจะมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง แต่วิธีแช่แข็งแบบไครโอเจนนิค ตัวทำความเย็นจะมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นกาซ สารทำความเย็นที่ใช้ในวิธีแช่แข็งแบบไครโอเจนิคต้องใช้กับอาหารได้ เช่น ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลวหรือแข็ง เป็นต้น อัตราเร็วของการแช่แข็งด้วยวิธีไครโอจีนิคจะเร็วกว่าการแช่แข็งด้วยวิธี Air blast freezing และ Plate freezing ค่อนข้างมาก แต่จะเร็วกว่าการแช่แข็งด้วยวิธี Fluidized-bed freezing และ Immersion freezing เพียงเล็กน้อย เช่นการแช่แข็งกุ้งด้วยวิธีไครโอจีนิคที่มีไนโตรเจนเป็นตัวทำความเย็นใช้เวลา 9 นาที ขณะที่แช่แข็งด้วยวิธี Fluidized-bed จะใช้เวลาถึง 12 นาที (Fennema,1975)

ข้อดีของวิธีแช่แข็งแบบไครโอจีนิคด้วยไนโตรเจนเหลว คือ ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 1 % เครื่องมือไม่สลับซับซ้อน เหมาะที่จะใช้ในการผลิตแบบต่อเนื่อง สามารถปรับอัตราการผลิตและใช้กับผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด นอกจากนี้ระบบนี้ยังป้องกันออกซิเจนไม่ให้ผ่านเข้าไปในห้องแช่แข็งระหว่างการแช่แข็ง (Fennema,1973) ช่วยลดกลิ่นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยา Oxidation ระหว่างไขมันไม่อิ่มตัวในอาหารกับออกซิเจนได้ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

ข้อเสียของการแช่แข็งแบบไครโอจีนิคด้วยไนโตรเจนเหลว คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง เนื่องจากไนโตรเจนเหลวมีราคาแพง

3. <u>การเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง</u>

การแช่แข็งเป็นวิธีถนอมอาหารซึ่งใช้หลักการลดอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็งของสารละลายในเนื้อเยื่อและน้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง การแช่แข็งทำได้โดยใช้เครื่องมือหลายแบบ เช่น Multi plate , Air-blast และ Cryogenic เป็นต้น อัตราเร็วของการแช่แข็งขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ ความเร็วของอากาศ อุณหภูมิของอาหารก่อนแช่แข็งรวมถึงรูปร่าง ขนาดและลักษณะของอาหาร ถ้าอัตราเร็วของการแช่แข็งสูง เวลาที่ใช้ในการทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงผ่านจุดเยือกแข็งจะสั้น และได้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อ

การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขณะแช่แข็งประกอบด้วยการเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพจากการเกิดผลึกน้ำแข็งกับการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยเมื่อลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จะเริ่มเกิดผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิเฉพาะ ซึ่งเป็นจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์แต่

ละชนิด อุณหภูมิดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ แต่ไม่ขึ้นกับปริมาณน้ำ การเกิดผลึกน้ำแข็งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะเกิดขึ้นหลังจากการเกิดจุดเย็นตัวยวดยิ่ง (Supercooling) สิ้นสุดลง (จุดเย็นตัวยวดยิ่งเป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิของสารละลายหรือสารลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งโดยปราศจากการเกิดผลึกน้ำแข็ง) จากนั้นอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้นเนื่องจากสารละลายที่จุดเย็นตัวยวดยิ่งจะคายความร้อน และน้ำเริ่มเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งที่จุดนี้ ซึ่งก็คือจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์นั่นเอง (Fennema,Karel และ Lund,1975 ; IIR,1972)

อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็ง ขึ้นอยู่กับอัตราการคายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ และอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากสารละลายหรือเจลไปสู่ผิวของผลึกน้ำแข็งที่ก่อตัวขึ้น อัตราเร็วของการแช่แข็งช้าจะก่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และมีปริมาณผลึกน้ำแข็งจำนวนน้อย ซึ่งผลึกน้ำแข็งเหล่านี้จะเกิดภายนอกเซลและทำลายเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ ขณะที่อัตราเร็วของการแช่แข็งเร็ว จำนวนผลึกน้ำแข็งมีปริมาณมากขึ้นและขนาดของผลึกน้ำแข็งเล็กลง ซึ่งผลึกเหล่านี้เกิดภายในเซลของผลิตภัณฑ์ วิธีการแช่แข็งที่มีอัตราเร็วของการแช่แข็งสูง จะทำให้เกิดการเสียน้ำจากเนื้อเยื่อเมื่อน้ำแข็งละลาย (Drip loss) ต่ำกว่าวิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็วต่ำ และยังช่วยรักษาเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีกว่าอีกด้วย (IIR,1972 ; Bjorn และ Erla,1976)

การถนอมรักษาอาหารโดยการแช่แข็งจะยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น จากการยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (IIR,1972) พบว่าวิธีการแช่แข็งที่ใช้มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ กล่าวคือวิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็วของการแช่แข็งต่ำ จะเกิดผลึกน้ำแข็งช้าและมีขนาดใหญ่ สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่าผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กที่ได้จากวิธีแช่แข็งที่มีอัตราเร็วสูงกว่า (IIR,1972. ; Bjorn และ Erla, 1976) จุลินทรีย์บางส่วนจะถูกทำลายระหว่างแช่แข็งและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเยือกแข็ง อย่างไรก็ตามการแช่แข็งไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารได้ทั้งหมด (IIR,1972)

4. การแช่แข็งไข่และผลิตภัณฑ์ไข่

การแช่แข็งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่ดีสำหรับไข่ และมีการใช้อย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิตอาหาร ทั้งในรูปไข่ทั้งฟอง ไข่ที่แยกไข่แดงหรือไข่ขาว ผลิตภัณฑ์ไข่ที่มีการดัดแปลง และผลิตภัณฑ์ขนมอบสำเร็จรูปแช่แข็ง

4.1 ไข่ขาวแช่แข็ง การแช่แข็งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไข่ขาวดิบเล็กน้อย คือทำให้ไข่ขาวข้นบางส่วนเหลวมากขึ้น เนื่องจากไข่ขาวเหลวมีน้ำเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก เมื่อถูกแช่แข็ง จึงเกิดผลึกน้ำแข็งปริมาณมาก ซึ่งสามารถทำลายโครงสร้างของเส้นใยโอโวมิวซิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีมากในไข่ขาวข้น (William,1986)

4.2 ไข่แดงแช่แข็ง การแช่แข็งและการเก็บรักษาไข่แดงที่อุณหภูมิต่ำกว่า -6 องศาเซลเซียส จะทำให้ไข่แดงเกิดเจลและมีความหนืดเพิ่มขึ้น สูญเสียสภาพของการไหล (Fludity) ไม่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตได้เหมือนตอนเป็นไข่แดงเหลว เพราะไม่สามารถผสมกับส่วนผสมอื่นและให้ลักษณะปรากฏที่ไม่ต้องการ จากการศึกษาพบว่า เจลที่เกิดนี้ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปไข่แดงเหลวเหมือนเดิมได้ทั้งหมด

การควบคุมการเกิดเจล ทำได้ด้วยกันหลายวิธี ส่วนมากใช้โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับน้ำตาลซูโครส 10% แต่ในบางผลิตภัณฑ์ที่จำกัดการใช้สารนี้ ก็อาจใช้คอร์นไซรัป กลีเซอรีน ฟอสเฟตและน้ำตาลอื่นก็ได้ นอกจากการใช้สารต่าง ๆ เหล่านี้แล้ว Lopez, Fellers และ Powrie, 1954 อ้างถึงใน Stadelman และ Cotterill, 1986 รายงานว่าการใช้เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน เช่น ปาเปน ทริปซิน กับไข่แดงแช่แข็งสามารถลดการเกิดเจล Feeney , Mackonnell และ Fraenkel-Conrat, 1954 อ้างถึงใน Stadelman และ Cotterill,1986 รายงานว่าการบ่มไข่แดงกับ Crotoxin (lecithinaseA) ก่อนหรือหลังแช่แข็งสามารถลดปริมาณเจลที่จะเกิดขึ้น Palmer, Ijichi และ Roff (1970) พบว่าการให้ความร้อนอุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แก่ไข่แดงที่ละลายน้ำแข็ง ไข่แดงแช่แข็งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากเจลไปอยู่ในรูปไข่แดงเหลวได้บางส่วน นอกจากนี้ Thomson และ Bailey, 1933 ; Pearce และ Lavers, 1949 ; Lopez , Fellers และ Powrie, 1954 อ้างถึงใน Stadelman และ Cotterill,1986 พบว่าการผ่านกระบวนการทางกล (Mechanical treatment) เช่น โฮโมจีไนเซชั่น Colloid milling , Excessive mixing ก็สามารถลดการเกิดเจล ช่วยลดความหนืดของไข่แดงลงได้

4.3 ไข่ทั้งฟองแช่แข็ง จะเกิดเจลน้อยกว่าในไข่แดง เนื่องจากมีไข่ขาวช่วยเจือจางไข่แดง ลักษณะปรากฏจะเห็นเป็นกลุ่มก้อนหรือลิ่ม (Lumpy/Curded appearance) มีน้ำสีส้มอ่อนแยกออกจากลิ่มกลุ่มนั้น แต่ถ้ามีการกวนเบา ๆ จะสามารถให้ลักษณะปรากฏที่ดีคือมีเนื้อสัมผัสข้นเป็นเนื้อเดียวกัน การลดปริมาณเจลทำได้เช่นเดียวกับไข่แดง

ในทางการค้าจะแช่แข็งไข่ที่อุณหภูมิระหว่าง -23-(-40) องศาเซลเซียส แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -18-(-23) องศาเซลเซียส สำหรับภาชนะบรรจุ จะใช้ลักษณะที่เหมาะแก่การขนส่งและขาย ขนาดมาตรฐานทั่วไปดังนี้ กระป๋องโลหะหรือภาชนะพลาสติกขนาดบรรจุ 30 ปอนด์ และ 1 แกลลอน หรือ Pouch ขนาดบรรจุ 4 ,5 ,8 และ 10 ปอนด์ หรือกล่องนมที่เคลือบพลาสติกขนาดบรรจุ 8 ปอนด์

5. การละลายน้ำแข็ง (Defrosting operations) (IIR,1972)

การละลายน้ำแข็งของผลิตภัณฑ์ไข่แช่แข็ง จะต้องทำให้เป็นของเหลวอย่างเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายใต้การจัดการที่ถูกสุขลักษณะ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียสใช้เวลาละลายไม่เกิน 48 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิมากกว่า 4 องศาเซลเซียส ใช้เวลาละลายไม่เกิน 24 ชั่วโมง ถ้าเก็บในภาชนะโลหะหรือพลาสติก สามารถนำไปผ่านน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิน้อยกว่า 45 องศาเซลเซียส หรือละลายในตู้บ่ม(Incubator) อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (AOAC,1990) เพื่อเร่งการละลาย ผลิตภัณฑ์ไข่ที่ละลายน้ำแข็งแล้วควรรีบใช้ทันทีขณะที่ผลิตภัณฑ์ยังมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย