

บทที่ 2

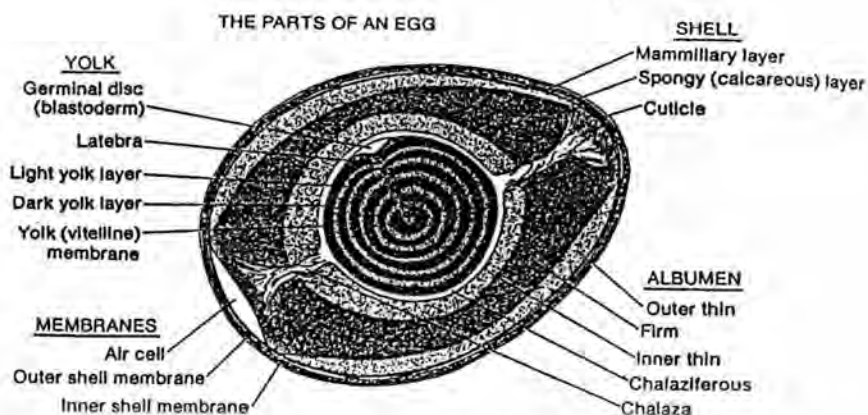
วารสารปริทัศน์

ไข่

ไข่เป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย และเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วจะเป็นแหล่งอาหารของตัวอ่อน ไข่ของสัตว์ที่นิยมนำมาเป็นอาหารเป็นผลิตภัณฑ์ได้จากสัตว์ปีกโดยเฉพาะไข่ไก่และไข่เป็ด สำหรับไข่นกกระทานั้นมีความสำคัญในอันดับรองลงมา ไข่อาจจะใช้บริโภคโดยตรงหรือเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ไข่ในอุตสาหกรรมขนมอบ ขนมหวาน เส้นบะหมี่ เป็นต้น (รมณี สงวนดีกุล, 2538) นอกเหนือจากอุตสาหกรรมอาหารแล้วยังมีการนำไข่ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆอีก เช่น ใช้ในด้านวิทยาศาสตร์และการแพทย์ หรือใช้ในอุตสาหกรรมการทำปุ๋ย สี แชมพู และการย้อมหนัง เป็นต้น (วรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ, 2539)

โครงสร้างของไข่

ไข่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือก แสดงดังรูปที่ 2.1 (Bennion, 1980) โดยไข่แต่ละชนิดจะมีสัดส่วนเหล่านี้แตกต่างกันเล็กน้อย



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของไข่

คุณค่าทางอาหารของไข่

ไข่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนคุณภาพสูงที่ย่อยได้ง่าย มีกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่อย่างครบถ้วน (Larbier และ Leclereq, 1994) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Lysine และ Methionine ที่มีอยู่ในปริมาณมาก

ตารางที่ 2.1 ปริมาณกรดอะมิโนในไข่ (มิลลิกรัมต่อไข่น้ำหนัก 60 กรัม)

กรดอะมิโน	ไข่แดง	ไข่ขาว	ไข่ทั้งฟอง
Aspartic acid	380	250	630
Threonine	160	150	310
Serine	240	240	480
Glutamic acid	480	340	820
Glycine	125	85	210
Alanine	210	150	360
Proline	150	120	270
Methionine	140	70	210
Cystine	105	50	155
Valine	240	170	410
Leucine	300	250	550
Isoleucine	190	155	345
Tryptophan	60	45	105
Phenylalanine	200	120	320
Tyrosine	150	130	280
Lysine	235	220	455
Histidine	80	75	155
Arginine	210	200	410

แหล่งที่มา : Larbier และ Leclereq (1994)

นอกจากนี้ไผ่ยังเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุต่างๆอีกหลายชนิด ปริมาณแร่ธาตุต่างๆในไผ่แสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในไผ่ขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ ส่วนของเปลือกจะประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นหลักและสามารถใช้เป็นแหล่งของแคลเซียมได้ นอกจากแร่ธาตุต่างๆแล้ว ไผ่ยังประกอบด้วยวิตามินซึ่งมีปริมาณแปรตามอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ ระดับวิตามินโดยเฉลี่ยในไผ่แสดงดังตารางที่ 2.3 โดยวิตามินที่ละลายในไขมัน ซึ่งได้แก่ วิตามิน เอ ดี และ อี จะพบในไผ่แดงเท่านั้น ส่วนวิตามินที่ละลายในน้ำจะพบทั้งในส่วนของไผ่ขาวและไผ่แดง (Stadelman, 1993)

ตารางที่ 2.2 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของไผ่ (ต่อไผ่ 100 กรัม)

แร่ธาตุ (มิลลิกรัม)	ไผ่ทั้งพอง	ไผ่ขาว	ไผ่แดง
Calcium	50.0	5.998	138.552
Chlorine	174.2	179.64	163.250
Copper	0.014	0.006	0.024
Iodine	0.048	0.003	0.133
Iron	1.440	0.030	3.554
Magnesium	10.0	11.976	6.024
Manganese	0.024	0.003	0.072
Phosphorus	178.0	11.976	487.944
Potassium	120.0	143.7	96.384
Sodium	126.0	164.7	42.168
Sulphur	164.0	167.7	150.600
Zinc	1.10	-	3.132

แหล่งที่มา : Stadelman (1993)

ตารางที่ 2.3 วิตามินในไข่ (ต่อไข่ 100 กรัม)

วิตามิน (หน่วย)	ไข่ทั้งฟอง	ไข่ขาว	ไข่แดง
A (IU)	634.0	-	1946.0
D (IU)	49.0	-	147.6
E (mg)	1.40	-	4.217
B ₁₂ (μ g)	1.00	0.210	3.132
Biotin (μ g)	19.96	7.006	45.662
Choline (mg)	430.12	1.257	1301.00
Folic acid (μ g)	46.0	2.994	144.58
Inositol (mg)	10.78	4.132	23.795
Nicotinic acid (mg)	0.074	0.093	0.012
Pantotenic acid (mg)	1.254	0.120	3.807
Pyridoxine (mg)	0.140	0.003	0.392
Riboflavin (mg)	0.508	0.452	0.639
Thiamin (mg)	0.062	0.006	0.169

แหล่งที่มา : Stadelman (1993)

ไข่ทั้งฟองประกอบด้วยไข่ขาวและไข่แดง โดยเป็นไข่ขาว 60% และไข่แดง 40% (Alais และ Linden, 1991) ไข่ซึ่งบริโภคในประเทศไทยมากคือ ไข่ไก่ ไข่เป็ด ไข่ห่าน และไข่นกกระทา ไข่ทั้งฟองของสัตว์ปีกชนิดต่างๆ ซึ่งรวมทั้งเป็ด ไก่ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ โดยมีสัดส่วนใกล้เคียงกันแต่จะมีปริมาณต่างกันตามชนิดของสัตว์ปีก ดังแสดงในตารางที่ 2.4 (รมณี สงวนดีกุล, 2538)

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนของไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ ในไข่ชนิดต่างๆ

ชนิดของไข่	น้ำหนักต่อฟอง (กรัม)	ไข่แดง (%)	ไข่ขาว (%)	เปลือกไข่ (%)
ไข่เป็ด	80	35.4	52.6	12.0
ไข่ไก่	58	31.9	55.8	12.3
ไข่ห่าน	200	35.1	52.5	12.4
ไข่นกพิราบ	17	17.9	74.0	8.1

แหล่งที่มา : รมณี สงวนดีกุล (2538)

ในบรรดาไขมันชนิดต่างๆ ไขมันที่เป็นไขมันที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมาก เช่น ใช้ในการทำมายองเนส ขนมอบชนิดต่างๆ ขนมหวาน ได้แก่ ทองหยิบ ทองหยอด ฝอยทอง เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของไขมันแสดงดังตารางที่ 2.5 (Alais และ Linden, 1991)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของไขมัน

	ไขมันฟอง	ไขมันแดง	ไขมันขาว	เปลือกไขมัน
น้ำหนักต่อหน่วย (กรัม) :	60	18	36	6
องค์ประกอบ (กรัม/100 กรัม) :				
- น้ำ	66	48	87	-
- โปรตีน	12	16	10.5	2
- ไขมัน	11	34	-	-
- คาร์โบไฮเดรต	0.5	0.4	0.6	-
- แร่ธาตุ	11	1.1	0.7	98

แหล่งที่มา : Alais และ Linden (1991)

นอกจากนี้ไขมันยังเป็นส่วนผสมสำคัญในอาหารหลายชนิด เช่น น้ำสลัด เค้ก ลูกอม เป็นต้น ไขมันทำหน้าที่หลายอย่างแตกต่างกันไปในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละประเภท เช่น เป็นสารให้ความข้น (thickening agent) สารช่วยให้เกิดฟอง (foaming agent) สารช่วยในการรวมตัวกันของน้ำกับน้ำมัน (emulsifying agent) และช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ไขมันยังทำหน้าที่เป็นส่วนผสมที่ให้สีและกลิ่นรส รวมทั้งยังใช้เป็นแหล่งเสริมธาตุเหล็กที่สำคัญให้แก่เด็กเล็กด้วย (Cook และ Briggs, 1990)

ไขมันแดงประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็ง 51% ซึ่งเป็นโปรตีน 16% และไขมัน 31% ไขมันขาวประกอบด้วยโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ไขมันแดงเป็นส่วนผสมที่ค่อนข้างซับซ้อนของโปรตีนและไขมัน ครึ่งหนึ่งของน้ำในไขมันแดงเป็นน้ำอิสระ (free water) ที่ไม่ได้จับกับสารใด ส่วนที่เหลือเป็นน้ำที่จับอยู่กับสารอื่น (bound water) โดยจะอยู่ใน 3 ส่วน คือ water-soluble protein high-density lipoprotein (HDL) และ low-density lipoprotein (LDL) ไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของ LDL โดยไตรกลีเซอไรด์จะเป็นแกนกลางของ LDL ซึ่งจะถูกล้อมรอบด้วยชั้นของพอลิฟอสฟอไลปิดและโปรตีน ส่วนของ HDL จะอยู่ในส่วนของ granules ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยการปั่นแยก โดยไขมันทั้งหมดในไขมันแดงจะอยู่ร่วมกับ lipoproteins (Johnson, 1974)

แม้ว่าไข่จะเป็นอาหารโปรตีนที่นิยมบริโภคกันมานาน แต่เนื่องจากปริมาณคอเลสเตอรอลที่สูงใน ส่วนของไข่แดงจึงทำให้ปริมาณการบริโภคไข่ในผู้บริโภคบางกลุ่มลดลง รวมทั้งปริมาณการบริโภคผลิตภัณฑ์ อาหารที่มีส่วนผสมของไข่แดงลดลงด้วย ไข่ไก่ขนาด 60 กรัม จะมีคอเลสเตอรอลอยู่ในช่วง 240 - 280 มิลลิกรัม โดยคอเลสเตอรอลทั้งหมดจะอยู่ในส่วนของไข่แดงคิดเป็น 1.3-1.4% โดยน้ำหนักไข่แดง (Labier และ Leclereq, 1994)

องค์ประกอบในไข่แดง

เมื่อนำไข่แดงไปปั่นแยกที่ความเร็วสูง สามารถแยกไข่แดงได้เป็นส่วน granule ที่ตกตะกอนและ ส่วนพลาสมาซึ่งเป็นของเหลวใสส่วนบน โดย granule ซึ่งเป็นส่วนของแข็งคิดเป็น 19-23% ของไข่แดง ประกอบด้วยไขมัน 35% โปรตีน 60% และ เกล็ด 5% โดยน้ำหนักแห้ง โดย 37% ของไขมันทั้งหมดเป็น พอลิฟอสฟอไรด์ ส่วนของพลาสมาซึ่งเป็นส่วนของเหลวคิดเป็น 78% ของไข่แดง และมีความชื้นประมาณ 49% ประกอบด้วยไขมัน 77-81% โปรตีน 18% และเกล็ด 2% โดยน้ำหนักแห้ง (Powrie และ Nakai, 1985)

- องค์ประกอบของ granule

granule ประกอบด้วย α - และ β -Lipoproteins 70%, Phosvitin 16% และ LDL 12% (Burley และ Cook, 1961) โดยสารประกอบเชิงซ้อนของ phosvitin กับ lipoproteins เป็นโครงสร้าง พื้นฐานของ granule (Radomski และ Cook , 1964) ส่วนของหน่วยย่อยที่มีอิเล็กตรอนอยู่หนาแน่นใน granule ประกอบด้วย LDL ที่ถูกล้อมรอบด้วย phosvitin strands ที่เกาะอยู่กับ lipoprotein micelles (Chang , Powrie และ Fennema , 1977) ที่ pH ปกติของไข่แดงองค์ประกอบต่างๆ ของ granule ซึ่ง ได้แก่ Lipoproteins , Phosvitin และ LDL จะอยู่รวมกันเป็นอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำที่เชื่อมกันด้วยสะพาน อีออนของธาตุฟอสฟอรัสกับแคลเซียม(Phosphocalcic bridges)ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงระหว่าง Phosvitin และ Lipoproteins (Chang , Powrie และ Fennema , 1977; Causeret , Martringe และ Lorient , 1991)

- Phosvitin

Phosvitin เป็น phosphoprotein ที่ประกอบด้วยฟอสฟอรัส 10% และ glucidic residue 5-6% (Burnardi และ Cook, 1960) สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ α - และ β -Phosvitin (Connelly และ Taborsky, 1961) ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่ 2.97% และ 9.20% ตามลำดับ (Abe, Itoh และ Adachi, 1982) มีมวลโมเลกุลในช่วง 35,000 ถึง 40,000g (Mok, Martin และ Common, 1961; Cook, 1968) นอกจากนั้น Phosvitin ยังมี Serine เป็นองค์ประกอบอยู่มาก (31% ของ amino acid residues ทั้งหมด) ในขณะที่ไม่มี Cysteine และ Cystine หรือมีอยู่น้อยมาก ส่วน ของฟอสเฟตในโปรตีนจะถูก esterified อยู่กับ Serine (Powrie และ Nakai , 1985) นอกจากนั้นยังมี ferric ions ที่เกาะติดแน่นอยู่กับ Phosvitin เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำ (Greenguard ,

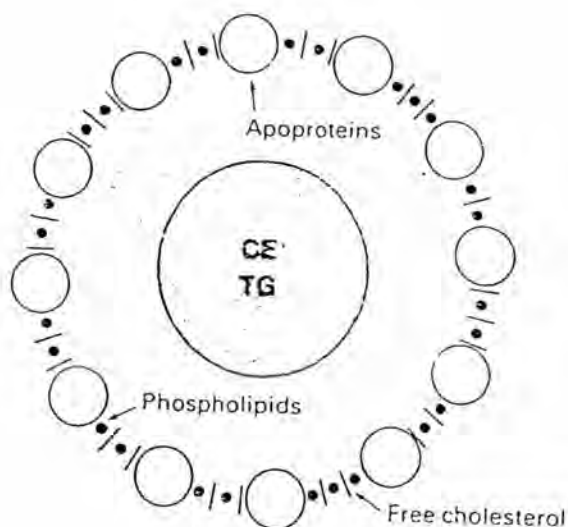
Sentenac และ Mendelsonn, 1964; Taborsky, 1974) โมเลกุล Phosvitin ประกอบด้วย amino acid residues 220 residues ซึ่งครึ่งหนึ่งเป็น phosphoserine และอีกครึ่งหนึ่งที่เหลือประกอบด้วย acidic amino acids เป็นจำนวนมาก (Taborsky, 1974) โดย phosphoserine residues จะอยู่ในรูป dianionic สามารถถูก protonate เมื่อลด pH และถูก deprotonate เมื่อเพิ่ม pH (Taborsky, 1974; Vogel, 1983) ดังนั้นประจุลบส่วนมากจะอยู่ร่วมกับ phosphoserine residues (Causeret, Matringe และ Lorient, 1991)

- Lipovitellins

Lipovitellins เป็นส่วนของ HDL สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ α - และ β -Lipovitellins จากปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะมีฟอสฟอรัสอยู่ 0.48% และ 0.27% ตามลำดับ (Burnardi และ Cook, 1960) โดยอยู่ร่วมกับส่วนของไขมันและ seryl residues (Belitz, 1963) Lipovitellins ประกอบด้วยไขมันประมาณ 20% ซึ่งทั้ง 2 ส่วนมีมวลโมเลกุลประมาณ 400,000g (Radomski และ Cook, 1964) มีลักษณะเป็น dimer โดยจะอยู่ในรูปที่เสถียรที่ pH < 7.0 โดย 2 ใน 3 ของไขมันเป็นฟอสโฟลิปิดและที่เหลืออีก 1 ใน 3 เป็นคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และ neutral lipids (Alais และ Linden, 1991) ซึ่งส่วนของฟอสโฟลิปิดประกอบด้วย Phosphatidylcholine (PC) 75%, Phosphatidylethanolamine (PE) 18%, Sphingomyelin และ Lysophospholipid 7%(Powrie และ Nakai, 1985) พันธะระหว่างไขมันและโปรตีนเป็นพันธะ hydrophobic นอกจากนี้ Vitellin ยังมี Cysteine เป็นองค์ประกอบค่อนข้างมากและในส่วนของ side chains จะมี aspartic acid และ glutamic acid อยู่มากด้วย (Alais และ Linden , 1991)

- Lipovitellenin

Lipovitellenin หรือ LDL มีโครงสร้างคล้ายไมเซล ประกอบด้วยไขมันประมาณ 89% และ glucides 3% (Nichols, Rubin และ Lindgren, 1954) ซึ่งมีการกระจายของไขมันไม่เหมือนใน Lipovitellin โดย 2 ใน 3 ของไขมันเป็น neutral lipids ซึ่งมีคอเลสเตอรอลอยู่ 4% ส่วนที่เหลืออีก 1 ใน 3 เป็นฟอสโฟลิปิด (Alais และ Linden, 1991) Lipovitellenin ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ส่วน ซึ่งมี degree of polymerization ที่แตกต่างกัน ทำให้มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 3×10^7 - 10×10^7 dalton นอกจากนั้น Vitellenin ยังประกอบด้วยกรดอะมิโนที่คล้ายคลึงกับ Vitellin แต่มี Cysteine อยู่น้อยกว่าโดยจะจับกับคาร์โบไฮเดรตด้วยพันธะ N- glucosamine -asparagine ส่วนของ prosthetic group ประกอบด้วย hexose และ neuraminic acid ส่วนของ LDL จะประกอบด้วยนิวเคลียสของ non-polar หรือ hydrophobic lipids (triglycerides และ esterified cholesterol) และมีชั้นล้อมรอบที่ประกอบขึ้นจาก apoprotein และ polar lipids (free cholesterol และฟอสโฟลิปิด) ซึ่งเป็นชั้นล้อมรอบเดี่ยว โดยชั้นล้อมรอบเดี่ยวนี้จะทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของอนุภาคใน aqueous phase ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ lipoproteins

(CE = esterified cholesterol ; TG = triglyceride)

แหล่งที่มา : Alais และ Linden (1991)

- องค์ประกอบของพลาสมา

พลาสมาประกอบด้วย Livetin ซึ่งเป็น globular protein และ Lipovitellenin ซึ่งเป็น LDL โดยส่วนของ Livetin และ LDL คิดเป็น 11% และ 66% ของปริมาณของแข็งในไข่แดงทั้งหมด (Powrie และ Nakai , 1985)

- Lipovitellenin

Lipovitellenin หรือ LDL ในพลาสมา มีความหนาแน่น 0.98 ประกอบด้วยไขมันในช่อง 84-89% ซึ่งเป็น neutral lipid 75% และฟอสโฟลิปิด 26% โดยส่วนของฟอสโฟลิปิดประกอบด้วย PC 71-76% , PE 16-20% , Sphingomyelin และ Lysophospholipid 8-9% (Martin , Tattre และ Cook, 1963) ซึ่งโครงสร้างของ LDL นี้จะเหมือนกับโครงสร้างของ LDL ในส่วนพลาสมา

- Livetin

Livetin ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ α - , β - และ γ - Livetin ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 80,000 , 45,000 และ 150,000 ตามลำดับ (Powrie และ Nakai, 1985)

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของไข่แดงในไข่ไก่

	% of total dry matter	Molecular mass(Da)	Lipid content (% of substance)	Protein content (% of proteins)	Phos- phorus (as% of proteins)	Locali- zation
Phosvitin	4	36,000	0	10	10	Particles
Lipovitellin,HDL	16	400,000	20	36	$\alpha=0.5$ $\beta=0.25$	Particles
Lipovitellenins, LDL	68	$3-10 \times 10^6$	88	24	0.1	Continuous Phase
Livetins	10	$\alpha:80,000$ $\beta:45,000$ $\gamma:150,000$	0	30	-	Continuous Phase

แหล่งที่มา : Alais และ Linden (1991)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของไข่แดงจะมีประมาณ 50% ขึ้นกับความสดของไข่ ไข่สดจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยเฉลี่ย 52.29% (Marion, Nordskog, Tolman และ Forsythe, 1964) ในระหว่างการเก็บน้ำจากไข่ขาวจะแพร่มายังไข่แดงทำให้ไข่แดงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง (Rose, Gridgeman และ Fletcher, 1966) องค์ประกอบหลักของของแข็ง (solid matter) ในไข่แดงคือโปรตีนและไขมัน โดยจะมีโปรตีนประมาณ 15.7-16.6% ปริมาณไขมันในไข่แดงจะแปรตามสายพันธุ์ของไก่โดยจะอยู่ในช่วง 32-36% (Marion, Woodroof และ Cook, 1965, Romanoff และ Romanoff, 1949)

องค์ประกอบไขมันในไข่แดง

ไขมันในไข่แดงเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของ lipoprotein complexes โดยมีสัดส่วนของไขมันต่อโปรตีนของไข่แดงประมาณ 2:1 จากการปั่นที่ความเร็วต่ำพบว่ามีการตกตะกอนของส่วน granule เกิดขึ้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดของไข่แดงประมาณ 25% และไขมันทั้งหมดประมาณ 7% เมื่อแยกส่วน granule จะมีส่วนของ HDL (Lipovitellins) และส่วนของ LDL ที่มีไตรกลีเซอไรด์มากอีกเล็กน้อย การปั่นที่ความเร็วสูงเป็นเวลานานจะมีส่วนของไขมันในปริมาณมาก (>90%) ซึ่งจะอยู่ร่วมกับ LDL ที่มีไตรกลีเซอไรด์มาก (Wells และ Belyavin, 1985)

องค์ประกอบของไขมันในไข่แดงเป็นไตรกลีเซอไรด์ 65.5%, พอสโพลีปิด 28.3% และคอเลสเตอรอล 5.2% โดยเป็น cholesteryl esters 1.3% และ free cholesterol 4.9% พอสโพลีปิดในไข่แดงประกอบด้วย PC 73.0% , PE 15.0%, Lysophosphatidylcholine 5.8%, Sphingomyelin 2.5% , Plasmalogen 0.9% และ Phosphatidylinositol (PI) 0.6% (Powrie และ Nakai, 1990) ส่วนของไขมันที่สามารถสกัดได้มีอยู่ประมาณ 33% ของน้ำหนักไข่แดง และ 60-65% ของปริมาณของแข็งในไข่แดง องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันแต่ละชนิดที่มีอยู่ในไข่แดง แสดงดังตารางที่ 2.7 นอกจากนี้ยังมีสารที่คล้ายไขมันซึ่งสามารถสกัดได้อีกหลายอย่างที่อยู่ในไข่แดง เช่น รงควัตถุ แคโรทีนอยด์ แต่องค์ประกอบเหล่านี้มีอยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Wells และ Belyavin, 1985)

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบของกรดไขมันของ cholesteryl esters , triglycerides และ phospholipids ของไข่แดง (% โดยน้ำหนักไขมันแต่ละส่วน)

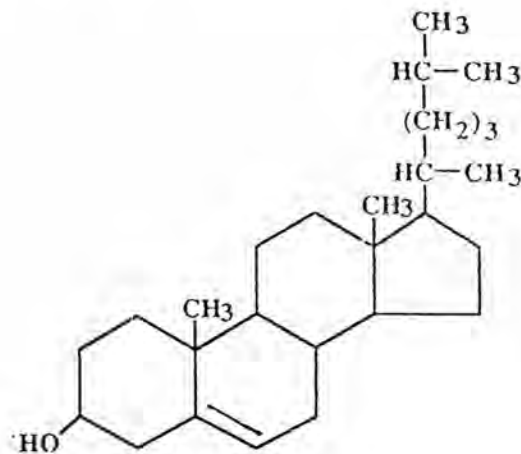
Fatty acids	Cholesteryl esters	Triglycerides	Phospholipids
Palmitic	29.1	24.5	28.4
Palmitoleic	1.0	6.6	1.9
Stearic	9.5	6.4	14.9
Oleic	40.1	46.2	29.5
Linoleic	18.0	14.7	13.8
Linolenic	0.3	1.1	0.3
Arachidonic	0.9	0.3	6.2
Docosahexaenoic	0.5	< 0.2	4.1

แหล่งที่มา : Wells และ Belyavin (1985)

คอเลสเตอรอล

โครงสร้าง

คอเลสเตอรอลเป็น sterol หรือ steroid alcohol ($C_{22}H_{46}O$) พบในเซลล์ทุกเซลล์ของร่างกายมนุษย์ (Tuckerman, 1983) มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3 (Baianu, 1992) คอเลสเตอรอลจัดเป็นสารประกอบประเภทไขมัน โดยเป็นส่วนประกอบของเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 0.2% ของน้ำหนักตัว โดยทั่วไปคอเลสเตอรอลจะถูกขนส่งไปกับกระแสเลือด โดยจะจับกับกรดไขมันสายโซ่ยาว (long-chain fatty acids) ในรูป ester (Williams, 1986)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของคอเลสเตอรอล

แหล่งที่มา : Baianu (1992)

หน้าที่

คอเลสเตอรอลเป็นสารสำคัญในเมทาบอลิซึมของมนุษย์ จัดอยู่ในจำพวกเดียวกับสารที่เรียกว่า สเตียรอยด์หรือสเตียรอลและเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ steroid hormones ทุกชนิด อนุพันธ์ของคอเลสเตอรอลในผิวหนัง (7-dehydrocholesterol) เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนเป็นวิตามินดี นอกจากนั้นคอเลสเตอรอลยังมีความสำคัญในการสังเคราะห์น้ำดีซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยให้ไขมันแตกตัวและเตรียมไขมันสำหรับการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ คอเลสเตอรอลจะกระจายอยู่ทั่วไปในทุกเซลล์ของร่างกายแต่จะพบมากในสมองและเนื้อเยื่อประสาท นอกจากนั้นคอเลสเตอรอลยังเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นของเยื่อหุ้มเซลล์ด้วย (Baianu, 1992)

แหล่งของคอเลสเทอรอล

ร่างกายได้รับคอเลสเทอรอลจาก 2 ทาง คือ จากการสังเคราะห์ภายในร่างกายและจากอาหารโดยร่างกายจะสังเคราะห์คอเลสเทอรอลมากที่สุดและลำไส้ โดยเฉลี่ยประมาณวันละ 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักร่างกาย ถ้าร่างกายได้รับคอเลสเทอรอลจากอาหารน้อย ร่างกายจะเพิ่มการสังเคราะห์คอเลสเทอรอลที่ตับ (Thomas และ Holub, 1994) คอเลสเทอรอลพบในอาหารที่ได้จากสัตว์ทุกชนิด แต่ไม่พบคอเลสเทอรอลในพืช แหล่งอาหารที่มีคอเลสเทอรอลแสดงดังตารางที่ 2.11 (Tuckerman, 1983) แหล่งของอาหารที่มีคอเลสเทอรอลมาก ได้แก่ ไข่แดง อวัยวะของสัตว์ เช่น สมอง ตับ และ ไต ตามปกติแล้วคอเลสเทอรอลจะเกิดขึ้นในไขมันจากสัตว์และเนื้อเยื่อสัตว์เท่านั้น จะไม่พบในไขมันที่ได้จากพืชหรือเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นไขมันพืชจึงไม่มีคอเลสเทอรอลแม้ว่าไขมันพืชจะมีระดับของความอิมิตัวที่หลากหลาย (Williams, 1986)

ตารางที่ 2.8 แหล่งอาหารที่มีคอเลสเทอรอล

แหล่งอาหาร	มิลลิกรัม/100กรัม ของส่วนบริโภค
เนื้อวัว	95
สมองดิบ	>2000
เนย	250
เนยแข็ง	100
นมสด	11
ไก่	87
ปู	125
ไข่แดง	1500
ปลา	50-70
ไอศกรีม	45
ไตดิบ	375
ไขมันหมู	95
ตับ	435
กุ้งใหญ่	200
กุ้งเล็ก	125
เนื้อหมู	70

แหล่งที่มา : Tuckerman (1983)

การลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

คอเลสเตอรอลซึ่งพบในผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไข่แดงซึ่งมีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงเป็นสาเหตุหนึ่งของโรคที่เกี่ยวกับระบบหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular diseases) ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ปริมาณการบริโภคไข่ลดลง ทั้งๆที่ความจริงไข่เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนที่มีค่า biological value สูง และมีสารอาหารต่างๆมากมาย เช่น วิตามิน แร่ธาตุ และพอสโพลิปิด นอกจากนี้สมบัติที่สำคัญของไข่ เช่น สมบัติช่วยในการรวมตัวของน้ำกับน้ำมัน (emulsifying) สมบัติในการเกิดฟอง (foaming) สมบัติในการเกิดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture-forming) เป็นต้น ทำให้ไข่เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอาหารหลายอย่าง เช่น มายองเนส น้ำสลัด และผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Baldwin, 1990; Kiosseoglou และ Sherman, 1983; Shepherd และ Yoell, 1976)

วิธีการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

วิธีการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงแบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ วิธีทางชีวภาพและวิธีทางเคมี วิธีทางชีวภาพทำได้โดยการควบคุมอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ โดยจะเลี้ยงไก่ด้วยอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก วิธีนี้สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลได้ระดับหนึ่งเท่านั้น (Shafey และ Cham, 1994; Jiang และ Sim, 1994) วิธีทางเคมี ได้แก่ การสกัดแยกโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ การใช้ Polysorbate 80 การใช้ supercritical fluid การใช้ β -cyclodextrin การใช้น้ำมันพืชที่มีอิมัลซิฟายเออร์ เป็นต้น แต่ละวิธีจะให้ผลในการลดปริมาณคอเลสเตอรอล รวมทั้งสมบัติของไข่แดงที่ได้แตกต่างกันไป

1. การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์

วิธีนี้จะใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ปีโตรเลียมอีเธอร์ สกัดไขมันและคอเลสเตอรอลออกจากไข่แดง ไข่แดงที่ได้จะมีปริมาณไขมันและคอเลสเตอรอลลดลง 50% และ 65% ตามลำดับ แต่จะมีสมบัติช่วยในการรวมตัวของน้ำกับน้ำมันและสมบัติในการเกิดฟองที่ไม่ดี นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วย (Paraskevopoulou และ Kiosseoglou, 1994)

2. การใช้ Polysorbate 80

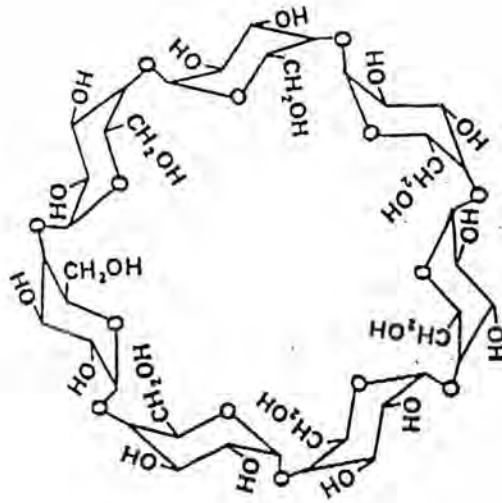
วิธีนี้จะใช้สารละลาย Polysorbate 80 ความเข้มข้น 1% เติมลงในสารละลายผสมของเอทานอลกับน้ำ เพื่อใช้สกัดคอเลสเตอรอลออกจากไข่แดง วิธีนี้สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ประมาณ 52% ไข่แดงที่ได้มีปริมาณไขมันลดลง มีปริมาณโปรตีนและพอสโพลิปิดเพิ่มขึ้น รวมทั้งยังมีสมบัติต่างๆ เป็นที่ยอมรับ (Paraskevopoulou และ Kiosseoglou, 1995)

3. การใช้ supercritical carbon dioxide

วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ สามารถสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดงผงได้ประมาณ 65% โดยไม่ทำให้สมบัติที่ดีของไข่แดงเสียไป ไข่แดงที่ได้จะมีปริมาณฟอสโฟลิปิดเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติช่วยในการรวมตัวของน้ำกับน้ำมันดีขึ้น แต่มีข้อเสียคือการสกัดในภาวะที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนบางส่วนเสียสภาพธรรมชาติ และไม่เหมาะที่จะใช้กับวัตถุดิบที่มีน้ำในปริมาณมาก เช่น ไข่แดงเหลว นอกจากนั้นไข่แดงที่ได้จะมีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิและความดันสูงในการสกัดจะทำให้ความหนาแน่นของ supercritical carbon dioxide เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ Palmitoleic acid และ Oleic acid ละลายใน supercritical carbon dioxide ได้มากขึ้น จึงทำให้สัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้น (Froning, Wehling, Cuppett, Pierce, Niemann และ Siekman, 1990; Hung และ Unger, 1995)

4. การใช้ β - cyclodextrin

β - cyclodextrin (β -CD) เป็น cyclic- oligosaccharide ได้จากการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์ ประกอบด้วย glucose monomer 6, 7 หรือ 8 หน่วย เรียงกันเป็นวงแหวนรูปโดนัท จัดเป็น alpha, beta และ gamma cyclodextrin ตามลำดับ โครงสร้างของ β -CD แสดงดังรูปที่ 2.4 (Friedman, 1991) β -CD เป็นสารที่ละลายน้ำได้และมีหมู่ไฮดรอกซิลยื่นออกมาด้านนอกของโมเลกุล โพรงภายใน (internal cavity) ของ CD ซึ่งเป็น hydrophobic ช่วยทำให้ CD เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ aromatic alcohol กรดไขมัน เอสเทอร์ของกรดไขมัน และคอเลสเทอรอลได้ วิธีนี้จะเจือไข่แดงด้วยน้ำแล้วปรับ pH จากนั้นเติม β -CD ในอัตราส่วนต่างๆลงไปกวนผสมเพื่อให้ β -CD ทำปฏิกิริยากับคอเลสเทอรอลในไข่แดง ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อให้เกิดการตกผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนของ β -CD กับคอเลสเทอรอลและ β -CD อิสระที่เหลือ จากนั้นนำไปปั่นแยกชั้นไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงออกมา ไข่แดงที่ได้จะมีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงประมาณ 85% และยังมีสมบัติต่างๆ เป็นที่ยอมรับ วิธีนี้ต้องใช้เอนไซม์ β -amylase ในการกำจัด β -CD ที่เหลืออยู่ในไข่แดงออก เนื่องจาก β -CD ที่เหลืออยู่นี้จะมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อนำไปประกอบอาหาร (Smith, Awad, Bennink และ Gill, 1995 ; Awad และ Smith, 1996)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ β -cyclodextrin

แหล่งที่มา : Friedman (1991)

5. การใช้น้ำมันพืชที่มีอิมัลซิฟายเออร์

การสกัดคอเลสเทอรอลออกจากไข่แดงเหลว โดยเจือไข่แดงด้วยน้ำ 50% ของน้ำหนักไข่แดง แล้วเติมน้ำมันพืชที่มี monoglyceride อยู่ 5-8% ลงไปกวนผสมแล้วนำไปโฮโมจิไนซ์ จากนั้นปั่นแยกชั้นไข่แดงที่มีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงออก ไข่แดงที่ได้จะมีปริมาณคอเลสเทอรอลลดลงประมาณ 80% และมีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีน้ำมันพืชบางส่วนที่รวมอยู่ในไข่แดง (Conte, Johnson, Hsieh และ Ko, 1992) นอกจากนี้การทำลายเสถียรภาพของระบบอิมัลชันในไข่แดงโดยการแยกส่วนของ granule จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดคอเลสเทอรอล ซึ่งการแยกส่วนของ granule สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารละลายเกลือความเข้มข้น 0.16 โมลาร์ (Dyer-Hurdon และ Nnanna, 1993) การใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 16% (Bracco และ Viret, 1982) การใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล (Smith, Awad, Bennink และ Gill, 1995)

อิมัลชัน

อิมัลชันเป็นระบบที่ประกอบด้วยของเหลว 2 ชนิดที่ไม่สามารถรวมเข้ากันได้ ของเหลวที่เป็นวัฏภาคกระจายตัว (dispersed phase) หรือวัฏภาคไม่ต่อเนื่อง (discontinuous หรือ internal phase) จะอยู่ในรูปของหยดของเหลวหรือโกลบูลเล็กๆ กระจายตัวอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous หรือ external phase) (Bennion, 1995) เมื่อน้ำและน้ำมันผสมกันจะเกิดอิมัลชันได้สองชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวและปริมาณของสารทั้งสอง เช่น ถ้าน้ำมันเป็นวัฏภาคกระจายตัวจะเกิด

อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำหรือถ้าเป็นวัฏภาคกระจายตัวจะเกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Brennan, Butters, Cowell และ Lilley, 1990) อิมัลชันพบในอาหารธรรมชาติหลายชนิด เช่น นม ครีม และไข่แดง นอกจากน้ำกับน้ำมันแล้วอิมัลชันยังประกอบด้วยอิมัลซิฟายเออร์ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการรักษาเสถียรภาพของระบบอิมัลชันและช่วย ให้ของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งได้ (Bennion, 1995)

อิมัลซิฟายเออร์

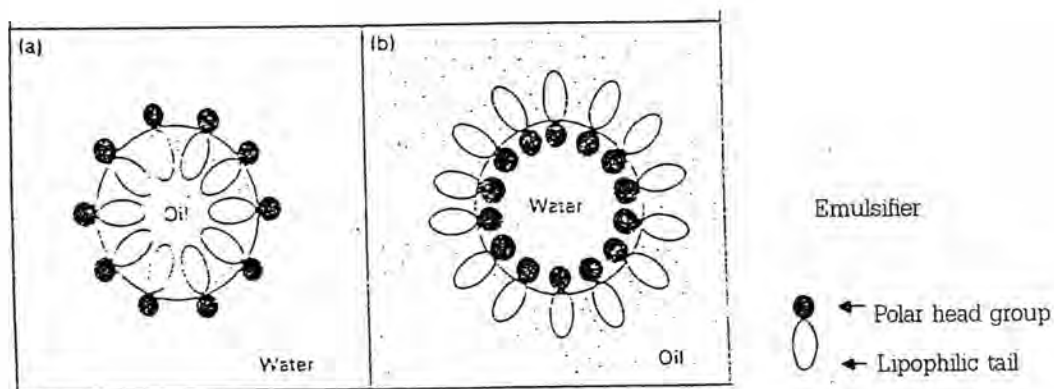
อิมัลชันเป็นระบบของของเหลว 2 ชนิดที่ไม่สามารถรวมเข้ากันได้ ซึ่งไม่มีความคงตัวต่ออุณหภูมิ อิมัลซิฟายเออร์มีบทบาทในการรักษาเสถียรภาพของระบบอิมัลชัน โดยการลดแรงตึงระหว่างผิวสัมผัส (interfacial tension) และสร้างชั้นฟิล์มเพื่อป้องกันการรวมตัวกันของหยดน้ำมัน (coalescence) มีสารในธรรมชาติมากมายที่มีสมบัติในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ เช่น ฟอสโฟลิปิด (เลซิทีน) โปรตีน ซาโปนิน ไลโปโปรตีน โพลีแซคคาไรด์ กัม และไกลโคลิปิด ต่อมาได้มีการผลิตอิมัลซิฟายเออร์สังเคราะห์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะและรสชาติตามต้องการ หน้าที่ของอิมัลซิฟายเออร์ในอาหารแสดงดังตารางที่ 2.12 (Clark , 1993)

อิมัลซิฟายเออร์จัดเป็นสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากโครงสร้างที่เป็น amphiphatic ซึ่งมีทั้งส่วนที่ชอบไขมัน (lipophilic หรือ hydrophobic) ซึ่งจะหันเข้าหาวัฏภาคน้ำมัน (oil phase) และส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) หรือส่วนที่มีขั้วซึ่งจะหันเข้าในส่วนวัฏภาคน้ำ (aqueous phase) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งความสามารถในการละลายในน้ำหรือน้ำมันจะพิจารณาจากสมดุลของส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ชอบไขมันในโมเลกุลหรือพิจารณาจากค่า HLB (hydrophilic - lipophilic balance) ซึ่งจะอยู่ในช่วง 1-20 อิมัลซิฟายเออร์ที่ละลายได้ดีในน้ำมัน (lipophilic emulsifiers) จะมีค่า HLB ต่ำ ส่วนอิมัลซิฟายเออร์ที่ละลายได้ดีในน้ำ (hydrophilic emulsifiers) จะมีค่า HLB สูง ซึ่งค่า 7 เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนวัฏภาค (phase) จากน้ำมันไปเป็นน้ำ อิมัลซิฟายเออร์ที่มีค่า HLB ต่ำกว่า 6 จะช่วยในการเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำมัน ดังรูปที่ 2.5(a) และอิมัลซิฟายเออร์ที่มีค่า HLB มากกว่า 8 จะช่วยในการเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ดังรูป 2.5(b) ในขณะที่อิมัลซิฟายเออร์ที่มีค่า HLB ในช่วง 7-8 จะใช้เป็นสารทำให้เปียก (wetting agent) (Clark, 1993) ค่า HLB ของอิมัลซิฟายเออร์ที่มีประจุ (charged emulsifiers) จะแปรตาม pH และ ionic strength ซึ่งจะไม่พบลักษณะนี้ในอิมัลซิฟายเออร์ที่ไม่มีประจุ (nonionic emulsifiers) นอกจากนั้นอิมัลซิฟายเออร์สามารถแบ่งได้จากอุณหภูมิในการเกิดการเปลี่ยนวัฏภาค (phase- inversion temperature, PIT) แต่ไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Clark , 1993)

ตารางที่ 2.12 หน้าที่ของอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร

Aeration	Fat sparing
Agglomeration	Foam stabilizing
Amylose complexing	Foam stiffening
Antispattering	Improvement of texture ,
Coating	Consistency
Creaming	Increased heat stability
Crumb softening	Lubrication
Crystal modifying	Moisture retention
Dough conditioning	Plasticity
Dough strengthening	Protein interaction
Emulsifying	Reduced stickiness
Emulsion stabilizing	Release
Extrusion aid	Viscosity reduction or increase
Fat distribution	Wetting

แหล่งที่มา : Clark (1993)



รูปที่ 2.5 ส่วน hydrophilic (polar) และ hydrophobic ของอิมัลซิไฟเออร์ในอิมัลชัน

แหล่งที่มา : Clark (1993)

ชนิดของอิมัลซิฟายเออร์

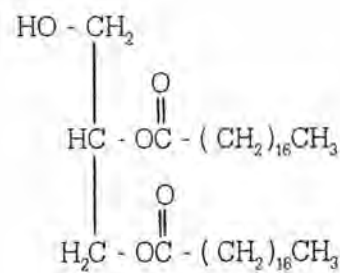
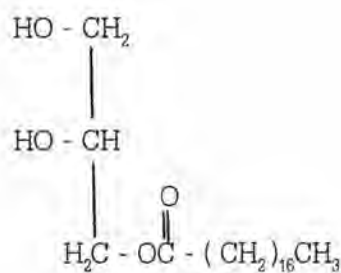
อิมัลซิฟายเออร์สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด โดยถือเอาการเกิดประจุเมื่อละลายน้ำเป็นเกณฑ์ คือ nonionic, anionic, amphotheric และ cationic โดยอิมัลซิฟายเออร์ที่มีอยู่ในทางการค้า มีบางส่วนที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีทางเคมี แต่โดยทั่วไปมักจะเป็นของผสมของสารที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวัตถุดิบในธรรมชาติ (Stauffer, 1992)

1. nonionic emulsifiers

nonionic emulsifiers เป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ไม่แตกตัวให้ประจุเมื่อละลายน้ำ มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ทุกค่า pH

- monoglycerides and derivatives

monoglycerides (MG) และ diglycerides (DG) เป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ละลายได้ดีในน้ำมันที่ไขมันในอุตสาหกรรมอาหาร ได้จากปฏิกิริยา transesterification ของ glycerol กับ triglycerides (TG) โดยการให้ความร้อนในภาวะที่เป็นต่าง (Artz, 1990) ของผสมของ MG ที่ได้ประกอบด้วย MG 45% , DG 45% และ TG ที่มีกลีเซอรอลอิสระและกรดไขมัน 10% โครงสร้างของ MG และ DG แสดงดังรูปที่ 2.6 ในทางอุตสาหกรรมอาหารจะใช้น้ำหนักโมเลกุลในการผลิต MG ที่มี MG เป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่า 90% โดยจะผ่านของผสมของ MG และ DG ภายใต้อุณหภูมิสูง (Clark, 1993)



รูปที่ 2.6 monoglyceride และ diglyceride

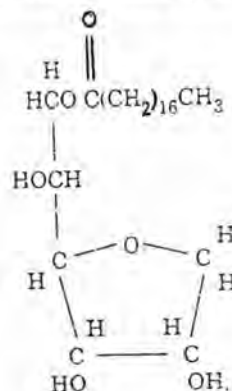
แหล่งที่มา : Clark (1993)

นอกจากนั้นยังสามารถแบ่ง MG ได้หลายชนิด ตามวิธีการผลิต ได้แก่

- distilled MG ประกอบด้วย MG อย่างน้อย 90%
- hydrated MG ประกอบด้วย MG ประมาณ 25% , sodium stearyl lactylate และ น้ำ 72% เป็น lamellar mesophase เพื่อให้กระจายตัวได้ดีในน้ำ
- distilled MG ชนิดผง ได้จากการนำไขมันมาทำให้เกิดความสมดุลระหว่างกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวขององค์ประกอบ ดังนั้นจึงเป็นผลให้อิมัลซิฟายเออร์ชนิดนี้เกิดการดูดซับน้ำได้ค่อนข้างเร็วในระหว่างการผสมในส่วนที่เป็นน้ำ องค์ประกอบกรดไขมันของ MG เป็นผลมาจาก TG ของไขมันที่ใช้ในการผลิต MG ค่า iodine ของ distilled MG ชนิดผงจะอยู่ในช่วง 19-36 และสำหรับ plastic MG จะอยู่ในช่วง 65-75 (Stauffer, 1992)

- sorbitan derivatives

sorbitan esters มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.7 ได้จากปฏิกิริยา hydrogenation ของ glucose กับ hexahydric sugar alcohol โดยระหว่างการทำ esterification จะมีการสูญเสียโมเลกุลของน้ำและเกิด hydroxylated tetrahydrofuran 1,4 anhydrosorbitan ส่วนหมู่ไฮดรอกซิลอิสระจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเกิดเป็น lipophilic sorbitan ester ซึ่งเป็นชนิดที่ละลายในน้ำมัน มีค่า HLB ค่อนข้างต่ำ มีชื่อทางการค้าว่า Span[®] นอกจากนี้ยังมีการนำ sorbitan ester มาทำปฏิกิริยากับ ethylene oxide เพื่อให้ได้ polyoxyethylene derivatives ซึ่งละลายน้ำได้และมีค่า HLB ค่อนข้างสูง มีชื่อทางการค้าว่า Tween[®] นอกจากนี้ยังมี polyglycerol esters ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของกรดไขมันกับ polymerized glycerol ที่ประกอบด้วย glycerol units 2-10 units โดย glycerol จะถูก polymerize ภายใต้อุณหภูมิสูง (>200°C) ในภาวะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำ esterification สามารถทำได้โดยใช้กรดไขมันอิสระหรือการทำให้ transesterification จาก TG การทำ polymerization และ esterification เป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตเพื่อให้ได้ sorbitan ester ที่มีลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติตามต้องการ (Stauffer, 1992)



sorbitan monostearate

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ sorbitan esters

แหล่งที่มา : Stauffer (1992)

- ester of polyhydric compounds

polyglycerol esters สามารถนำมาใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์ได้หลายด้านในอุตสาหกรรมอาหาร (Bimbaum, 1981; Hartnett, 1977) ถูกสังเคราะห์โดยการให้ความร้อนกลีเซอรอล ในภาวะที่มีต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดย ether linkages จะเกิดระหว่างส่วน primary hydroxyl ของกลีเซอรอล จากนั้นส่วน polyglycerol backbone จะถูก esterify โดยการทำปฏิกิริยาโดยตรงกับกรดไขมันหรือโดยปฏิกิริยา esterification กับ TG ค่า HLB ของ ester เหล่านี้ขึ้นอยู่กับความยาวของสายโพลีกลีเซอรอล (จำนวนของ hydrophilic hydroxyl group ที่มีอยู่) และระดับการเกิดเอสเทอร์ (Stauffer, 1992)

2. anionic emulsifiers

anionic emulsifiers เป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่แตกตัวให้ประจุลบเมื่อละลายน้ำ มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ pH ในช่วงที่เป็นด่าง

- MG derivatives (hydroxycarboxylic and fatty acid esters of MG)

ในการผลิต MG derivatives ซึ่งเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่มีลักษณะความเป็น hydrophilic เพิ่มขึ้นจาก MG จะมีการ esterify MG ด้วยกรดอินทรีย์ปริมาณเล็กน้อย โดยกรดที่ใช้ ได้แก่ Acetic acid Citric acid Fumaric acid Succinic acid Tartaric acid (Artz, 1990)

- succinylated MG

ได้จากปฏิกิริยาของ succinic anhydride กับ MG เกิดเป็น succinate monoester (Stauffer, 1992) มักใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ โดยทำหน้าที่เป็นสารปรับสภาพของโดขนมอบและสารทำให้เกิดความนุ่มของขอบขนมปัง (Larsson, 1976)

- acetic acid esters ของ MG และ DG

เป็นสารที่ละลายในไขมันและไม่ละลายในน้ำ ใช้ควบคุมการเกิดผลึกของไขมันและปรับปรุงสมบัติในการจับอากาศของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูง ซึ่งมักใช้เติมใน shortening หรือส่วนผสมเค้ก

- citric acid esters ของ MG และ DG

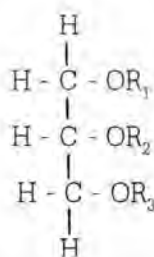
เป็นสารที่ละลายในน้ำร้อนและไขมัน ใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์และสารต้านการเกิดหยดน้ำ (anti-spattering agent) ในมาร์การีน ปรับปรุงลักษณะผลิตภัณฑ์ขนมอบ ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูงและใช้เป็นตัวเสริมและตัวละลายของสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (Artz, 1990)

- diacetyl tartaric acid esters ของ MG (DATEM)

ได้จากการผสม MG tartaric acid และ acetic anhydride ในสัดส่วนที่เหมาะสมและทำปฏิกิริยากันภายใต้ภาวะที่เหมาะสม (Stauffer, 1992)

- lactic acid esters ของ MG และ DG

สามารถกระจายตัวได้ในน้ำร้อน โดยคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ขึ้นกับร้อยละของ MG ปริมาณ Lactic acid ค่าความเป็นกรด กลีเซอรินอิสระ และปริมาณน้ำ



รูปที่ 2.8 organic acid ester of a MG

เมื่อ R_1 คือ short- chain organic acid

R_2 คือ fatty acid

R_3 คือ short- chain organic acid หรือ fatty acid

หรือ hydrogen

(R_1 , R_2 และ R_3 สามารถสลับกันได้)

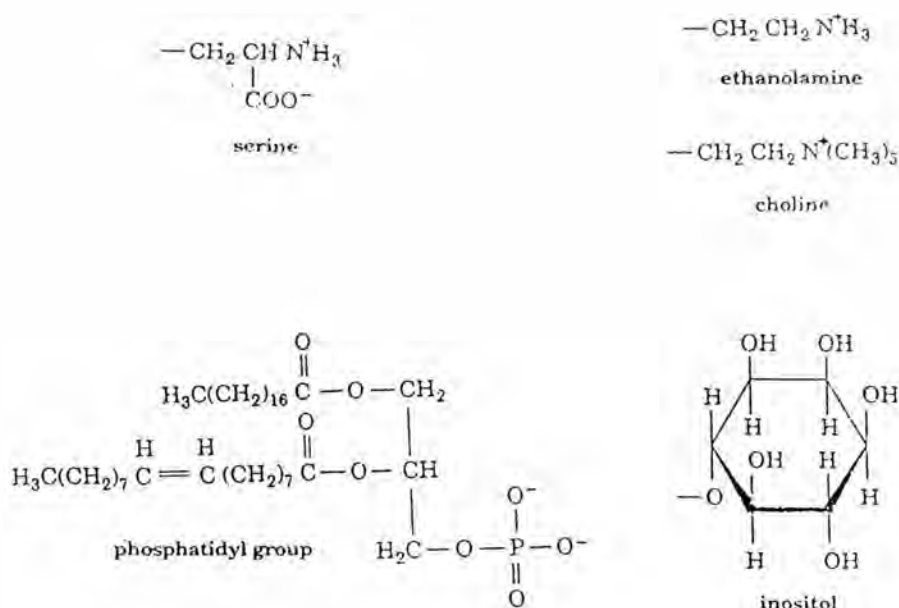
แหล่งที่มา : Stauffer (1992)

3. amphoteric emulsifiers

amphoteric emulsifiers เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกตัวให้ทั้งประจุบวกและประจุลบเมื่อละลายน้ำ โดยขึ้นกับ pH มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ค่า pH ทุกค่า

- Lecithin

เลซิตินเป็นช่องทางอุตสาหกรรมของฟอสโฟลิปิดจากพืชหรือสัตว์ เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวในเลซิตินแสดงดังรูปที่ 2.9 (Stauffer , 1992) ส่วน phosphatidyl group คือส่วน phosphate ester ของ DG องค์ประกอบกรดไขมันของ DG จะคล้ายกับน้ำมันพืชที่ใช้ในการผลิต (Stanley, 1951) ดังนั้นจึงพบกรดไขมันชนิดต่างๆ หลายชนิดแตกต่างกันไป เลซิตินที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยมากเป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันพืช โดยเฉพาะถั่วเหลืองเนื่องจากกระบวนการผลิตผ่านการใช้ความร้อนน้อยกว่าการสกัดน้ำมันจากแหล่งอื่น จึงให้รสชาติที่ดีกว่าเลซิตินที่สกัดจากน้ำมันพืชชนิดอื่นมักจะใช้ผสมกับกากเมล็ดที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ เลซิตินอาจจะสกัดได้จากไข่แดง แต่ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงจึงมักใช้เฉพาะในทางการแพทย์ (Kullenberg, 1989)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวในเลซิทิน

แหล่งที่มา : Stauffer (1992)

ส่วนประกอบของเลซิทิน

เลซิทินจากถั่วเหลืองจะมี phosphatidyl serine (PS) อยู่น้อยมาก แต่จะมี PE และ PC อยู่มาก โดยจะมีอยู่อย่างละประมาณ 20-23% เท่าๆกัน จัดเป็น amphotheric surfactants ในขณะที่ PI เป็น anionic มีอยู่ประมาณ 18-20% phosphatidic acid (PA) มีอยู่ประมาณ 4-8% ฟอสโฟลิปิดชนิดอื่นอีกประมาณ 15% และไกลโคลิปิด 9-12% (Brekke, 1990) ส่วนเลซิทินจากไข่แดงจะประกอบด้วย PC เป็นหลักประมาณ 68-72% ค่า HLB ของแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป โดย PC จะมีค่าสูง PE จะมีค่าปานกลาง และ PI มีค่าต่ำ นอกจากนั้นสมบัติช่วยในการรวมตัวของน้ำกับน้ำมันของเลซิทินสามารถปรับปรุงได้โดยการทำการแยกส่วนเอทานอล (Nieuwenhuyzen, 1976) PC ละลายในเอทานอล PI ไม่ค่อยละลายในเอทานอล และ PE ละลายได้บางส่วนในเอทานอล การเติมเลซิทินลงในเอทานอลจะให้ส่วนที่ละลายและไม่ละลาย องค์ประกอบของฟอสฟาไทด์ของทั้งสองส่วนคือส่วนที่ละลายในเอทานอลประกอบด้วย PC 60% PE 30% PI 2% และส่วนที่ไม่ละลายในเอทานอลประกอบด้วย PC 4% PE 29% PI 55% (Brekke, 1980) ส่วนที่ละลายจะมีประสิทธิภาพในการเสริมและรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ในขณะที่ส่วนที่ไม่ละลายจะมีประสิทธิภาพในการเสริมและรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Stauffer, 1992) องค์ประกอบของเลซิทินในทางการค้า แสดงดังตารางที่ 2.14 (List, 1989) และมาตรฐานทางการค้าของเลซิทินแสดงดังตารางที่ 2.15 (Lantz, 1989)

ตารางที่ 2.9 องค์ประกอบของเลซิทิน (%) ในทางการค้า

องค์ประกอบ	oil-free lecithin	fractionated lecithin	
		alcohol-soluble	alcohol-insoluble
Phosphatidylcholine (PC)	29	60	4
Phosphatidylethanolamine (PE)	29	30	29
Phosphatidylinositol (PI) และ ฟอสโฟลิปิดอื่นๆ รวมทั้งไกลโคลิปิด	3	4	55
น้ำมันถั่วเหลือง	3	4	4
อื่นๆ	7	4	8
ชนิดอิมัลชันที่จะนำไปใช้	o/w , w/o	o/w	w/o

แหล่งที่มา : List (1989)

ตารางที่ 2.10 มาตรฐานทางการค้าของเลซิทิน

มาตรฐาน		เลซิทินชนิดแข็ง	เลซิทินชนิดเหลว
		(plastic)	(fluid)
Acetone Insoluble (AI)	% min	65	62
Moisture	% min	1	1
Hexane Insoluble	% max	0.3	0.3
Acid Value (AV)	max	30	32
Viscosity (poise ที่ 25°C)	max	-	150
Penetration (mm)	max	22	-

แหล่งที่มา : Lantz (1989)

4. cationic emulsifiers

cationic emulsifiers เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกตัวให้ประจุบวกเมื่อละลายน้ำ โดยจะมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ pH ในช่วงที่เป็นกรด ในอุตสาหกรรมอาหารจะไม่ใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร ซึ่งสารบางตัว เช่น quaternary ammonium compound , cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) จะมีสมบัติในการทำลายแบคทีเรียและใช้สำหรับทำความสะอาดอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตอาหาร (Stauffer, 1992)

ไฮโมจิไนซ์เซชัน

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้กระบวนการไฮโมจิไนซ์เซชันเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะมีการลดขนาดของของแข็งหรือของเหลวในอาหารเหลว โดยการให้อาหารเหลวผ่านช่องแคบ (orifice) ที่มีรูเปิดเล็กมากด้วยความดันสูงและความเร็วสูงมาก นอกจากนี้กระบวนการไฮโมจิไนซ์เซชันยังเป็นการเพิ่มจำนวนของของแข็งหรือของเหลวที่เป็นอนุภาคกระจายตัว โดยการใส่แรงเฉือน (shear) เพื่อเพิ่มความคงตัวแก่อาหารเหลว (Farrall, 1976)

ทฤษฎีของไฮโมจิไนซ์เซชัน

หลักการของไฮโมจิไนซ์เซชันคือการให้ของเหลวไหลผ่านช่องแคบ (orifice) ที่เล็กมากด้วยความดันสูงและความเร็วสูงมาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อย่างเห็นได้ชัด โดยลักษณะการแยกที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่เป็นผลจากแรงเฉือนระหว่างผิวหน้าต่าง ๆ ของวาล์วขณะที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านช่องเล็กๆ ด้วยความเร็วสูง อนุภาคของของแข็งหรือหยดของเหลวที่อยู่ใกล้กับผนังหรือขอบของกระแสมากที่สุดจะมีแรงต้านทานจากแรงเสียดทานของของไหลในกระแส และกระแสที่อยู่ตรงศูนย์กลางของทางไหลหรือส่วนที่วิ่งเร็วที่สุดของกระแสจะพาอนุภาคต่างๆ ที่อยู่ตรงกลางเคลื่อนที่ไปได้เร็วกว่าอนุภาคที่อยู่ใกล้กับขอบของกระแส ความแตกต่างของความเร็วนี้ทำให้อนุภาคของของแข็งมีการบดซึ่งกันและกันด้วยแรงเฉือนทำให้มีขนาดเล็กลง ยิ่งความเร็วในการไหลมากขึ้นและกระแสแคบขึ้น แรงเฉือนจะมากขึ้นด้วย (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

เครื่องไฮโมจิไนเซอร์

ของผสมที่ต้องผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์เซชัน ต้องเป็นของผสมที่มีความหนืดที่สามารถชนถ่ายได้ด้วยปั๊ม เนื่องจากเครื่องไฮโมจิไนเซอร์ชนิดต่อเนื่องใช้ปั๊ม ความดันที่ต้องการในของเหลวที่ทอส่งออกของปั๊มขึ้นกับกลไกในการลดขนาดซึ่งเกิดในเครื่องไฮโมจิไนเซอร์ ถ้าแรงที่ต้องการในการลดขนาดของอนุภาคที่เป็นอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องได้รับโดยตรงจากพลังงานของการไหลจำเป็นต้องใช้ความดันสูงซึ่งความดันจะลดลงทันทีเมื่อไหลผ่านช่องเปิดหรือวาล์วของการไฮโมจิไนซ์เซชัน เครื่องไฮโมจิไนเซอร์ชนิดนี้จึงเรียกว่าเครื่องไฮโมจิไนเซอร์ความดันสูงและเป็นชนิดมาตรฐานที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องที่มีพลังงานของการไหลต่ำก็ต้องการความดันต่ำกว่า แต่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานอื่นเพิ่มเติมสำหรับการลดขนาดอนุภาค เครื่องชนิดนี้ที่เรารู้จักกันดีคือเครื่องไฮโมจิไนเซอร์ชนิดโรเตอร์สเตเตอร์ เช่น คอลลอยด์มิลล์ แรงที่ใช้ทำให้ขนาดอนุภาคของอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องแตกเกิดจากพลังงานของโรเตอร์ที่หมุนด้วยความถี่สูง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์มี 4 ชนิดหลักๆ ดังนี้

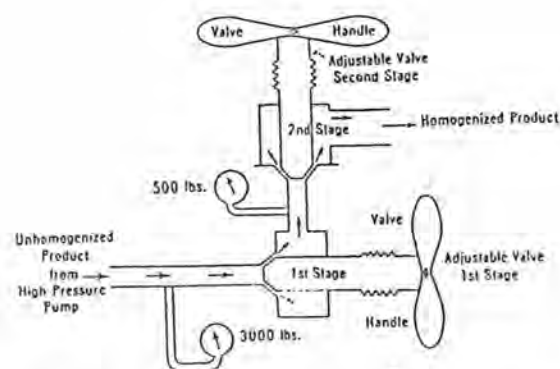
1. เครื่องผสม (mixers)

- เครื่องกวนแบบใบพาย (paddle) ที่มีความเร็วต่ำมักใช้สำหรับการทำอิมัลชันหรือการผสมก่อนนำไปแปรรูปอื่นๆ

- เครื่องผสมชนิดใบพัดกังหัน (turbine) และชนิดใบพัดเรือ (propeller) เป็นชนิดที่มีความเร็วสูง มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เป็นเพียงตัวผสมก่อนหรือการทำเป็นอิมัลชัน โดยเฉพาะระบบที่มีความหนืดต่ำ

2. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง (pressure homogenizers)

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ วาล์วของการโฮโมจีไนเซชันและปั๊มความดันสูง วาล์วมักจะออกแบบมาเพื่อให้เกิดช่องแคบ (gap) ที่ปรับได้โดยมีความกว้างระหว่าง 15-300 ไมครอน อิมัลชันหยากจะถูกบีบผ่านช่องแคบนี้ที่มีความดันสูงถึง 10000 psi ขณะที่อาหารเหลวเข้าสู่ช่องแคบนี้ ของเหลวจะถูกเร่งจนมีความเร็วในช่วง 50-200 m/s ทำให้อนุภาคของวัสดุที่ไม่ต่อเนื่องเกิดการเฉือนซึ่งกันและกันจนเสียรูปร่างและแตกออก ในวาล์วหลายชนิดขณะที่อนุภาคของเหลวออกจากช่องแคบนี้จะชนกับผิวที่แข็งซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหล ลักษณะเช่นนี้จะเร่งการแตกหรือการฉีกขาดของอนุภาคที่ไม่เสถียรของวัสดุที่ไม่ต่อเนื่องต่อไปอีก ความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ของเหลวออกจากช่องแคบ และการยุบตัวของฟองเนื่องจากคาวิตีชัน อาจจะมีผลต่อการลดขนาดของอนุภาคด้วย เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงชนิดที่มีวาล์ว 2 ชั้น ดังรูป 2.11 (Farrall, 1976) อาจจะต้องใช้เพื่อให้มีการกระจายตัวที่เหมาะสมสำหรับบางผลิตภัณฑ์ เช่น ในผลิตภัณฑ์นม ครีมสลัด และอิมัลชันอื่นๆ ที่โปรตีนทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ อนุภาคขนาดเล็กที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านวาล์วของโฮโมจีไนเซอร์ 1 รอบที่ความดันสูงมีแนวโน้มที่จะเกาะและรวมตัวกันอีก ในการแก้ปัญหานี้อาจจะให้อาหารดังกล่าวผ่านวาล์วของโฮโมจีไนเซอร์ตัวที่สองที่ความดันต่ำ เช่น 400-500 psi ด้วยวิธีนี้กลุ่มของอนุภาคที่เกาะกันจะแตกออก(รุ่งมา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)



รูปที่ 2.10 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงชนิดที่มีวาล์ว 2 ชั้น

แหล่งที่มา : Farrall (1976)

3. เครื่องบดคอลลอยด์ (colloid mills)

รูปแบบทั่วไปของเครื่องบดคอลลอยด์ประกอบด้วยผิวที่หยุดนิ่งเรียกว่าสเตเตอร์และผิวที่หมุนหรือตัวหมุนเรียกว่าโรเตอร์ซึ่งหมุนรอบแกนนอน ช่องว่างระหว่างผิวที่อยู่นิ่งและตัวหมุนสามารถปรับได้ โดยการเคลื่อนของตัวหมุน ของเหลวที่เป็นอิมัลชันหนายจะป้อนเข้าสู่ศูนย์กลางของการหมุนภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ผ่านช่องว่างระหว่างผิวที่หยุดนิ่งและตัวหมุน ในระหว่างที่ผ่านช่องว่างผิวทั้งสองของเหลว จะได้รับการเสียดสีทำให้เกิดอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องขึ้น จากนั้นของเหลวจะถูกปล่อยออกที่รอบเส้นรอบวงของผิว เครื่องบดนี้เหมาะสำหรับของเหลวความหนืดต่ำ (Brennan, Butters, Cowell และ Lilley, 1990)

4. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดอัลตราซาวนด์ (ultrasonic homogenizers)

การใช้คลื่นอัลตราซาวนด์ เช่น คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า (18-30 kHz) เป็นวิธีการหนึ่งในการกระจายของเหลวที่ไม่สามารถละลายเข้ากันได้กับของเหลวอีกชนิดหนึ่งเกิดเป็นอิมัลชันขึ้น คลื่นอัลตราซาวนด์พลังงานสูง ก่อให้เกิดวงจรสลับของแรงอัดและแรงดึงในของเหลวที่มีความหนืดต่ำ เพื่อทำให้เกิดอิมัลชัน (Loncin และ Merson, 1979)

ผลของการโฮโมจีไนเซชันต่อการทำให้ไขมันกระจายตัว

เมื่ออิมัลชันผ่านกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน เม็ดไขมันสามารถอยู่ในสภาวะต่างๆดังนี้ คือ อนุภาคไขมันมีขนาดเล็กกลง โดยอนุภาคไขมันเดี่ยวๆไม่เกิดการเกาะติดกัน อนุภาคไขมันมากกว่า 2 อนุภาคมาเกาะติดกัน (cluster) อนุภาคไขมันที่มากกว่า 2 อนุภาคมารวมกันแน่นมาก ทำให้ลักษณะปรากฏของอนุภาคเดี่ยวหายไปเกือบหมด (clumps) หรือแต่ละอนุภาคของอนุภาคไขมันไม่สามารถแยกออกจากกันได้ (churned หรือ buttered particles) ซึ่งการกระจายตัวที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดการเกาะติดกันของอนุภาคไขมันที่มากเกินไป (Farrall, 1973)

ผลของการโฮโมจีไนเซชันต่อสี กลิ่นรส และคุณค่าทางอาหาร

การโฮโมจีไนเซชันมีผลต่อสีของอาหารบางชนิด เช่น ในน้ำนม ยังมีจำนวนของเม็ดไขมันมากจะทำให้เกิดการสะท้อนแสง ทำให้มีสีขาวมากขึ้น กลิ่นรสอาจจะดีขึ้นในอาหารบางชนิด เนื่องจากการทำให้สารประกอบที่ระเหยง่ายกระจายตัวทั่วอาหาร คุณค่าทางอาหารจะเปลี่ยนไปเมื่อองค์ประกอบบางชนิดถูกแยกออกไป บางกรณีอาจเป็นการเพิ่มความสามารถในการย่อยของไขมันและโปรตีนเนื่องจากการลดขนาด (Brennan, 1990)

น้ำมันพืช

น้ำมันและไขมันเป็นสารอาหารจำเป็นสำหรับมนุษย์ เป็นแหล่งให้พลังงานและกรดไขมันจำเป็นและทำหน้าที่เป็น carrier สำหรับวิตามินที่ละลายในไขมัน เมล็ดพืชน้ำมันหลายชนิดสามารถนำมาใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ (Shukla , 1994) ซึ่งเมล็ดถั่วเหลืองมีการนำมาใช้ผลิตเป็นน้ำมันพืชที่มีปริมาณการใช้มากถึง 1 ใน 4 ของน้ำมันพืชทั้งหมด (Salunkhe, Chavan, Adsule และ Kadam, 1992) น้ำมันถั่วเหลืองมีค่าไอโอดีนระหว่าง 129 - 137 เป็นน้ำมันบริโภคที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงและมีกรดลิโนเลนิกสูง 2-8% และไม่เป็นไซท์ออกฤทธิ์ต่ำจึงใช้บรรจุปลาทูกระป๋องและสามารถใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทอื่นได้ (เนื้อทอง วนานวัช, 2539)

องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของน้ำมันถั่วเหลืองดิบและน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 2.16 (Pryde , 1980) องค์ประกอบของกรดไขมันของแหล่งน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.17 (Shukla, 1994) ซึ่งน้ำมันและไขมันสามารถแบ่งได้ตามชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) , กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะเดี่ยว (monounsaturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายพันธะ (polyunsaturated fatty acid) (Shukla , 1994)

ตารางที่ 2.11 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของน้ำมันถั่วเหลืองดิบและน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ

Average composition (%)	Crude oil	Refined oil
Triglycerides	95-97	>99
Phosphatides	1.5-2.5	0.003-0.045
Unsaponifiable matter	1.6	0.3
Plant sterols	0.33	0.13
Tocopherols	0.15-0.21	0.11-0.18
Hydrocarbons (Squalene)	0.014	0.01
Free fatty acids	0.3-0.7	<0.05
Trace metals (ppm)		
Iron	1-3	0.1-0.3
Copper	0.03-0.05	0.02-0.06

แหล่งที่มา : Pryde (1980)

ตารางที่ 2.12 องค์ประกอบของกรดไขมันของแหล่งน้ำมันชนิดต่างๆ (%)

Oil or Fat	Fatty acids													
	4:0	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	20:0	16:1	18:1	20:1	18:2	18:3
Saturated														
Coconut oil		1	8	6	47	18	9	3			6		2	
Palm kernel oil		1	3	4	48	16	8	3			15		2	
Butter fat	4	2	1	3	3	11	27	12		2	29		2	1
Cocoa butter							26	35	1		35		3	
Palm oil						1	45	4			40		10	
Beef tallow						3	24	19		4	43		3	1
Lard						2	26	14		3	44	1	10	
Monounsaturated														
Olive oil							13	3	1	1	71		10	1
Rapeseed oil							4	2			62		22	10
Peanut oil							11	2	1		48	2	32	
Polyunsaturated														
Safflower oil							7	2			13		78	
Sunflower oil							7	5			19		68	1
Soybean oil							11	4			24		54	7
Corn oil							11	2			28		58	1
Cottonseed oil						1	22	3		1	19		54	1

แหล่งที่มา : Shukla (1994)