บทที่ 8
ไข่และผลิตภัณฑ์ไข่
(Eggs and Egg Products)

ไข่เป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์ที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมันเป็นแหล่งอาหารของตัวอ่อน ในบทนี้เราจะกล่าวถึงไข่ไก่โดยเฉพาะ ไก่แต่ละตัวให้ไข่เฉลี่ย 220 - 300 ฟองต่อปีขึ้นกับพันธุ์และวิธีการเลี้ยง ไข่จำนวนนี้จะนำมาบริโภคประมาณร้อยละ 90 หรือมากกว่า นอกนั้นถูกนำไปทำผลิตภัณฑ์ไข่แช่แข็งและไข่ผง นอกจากนั้นไข่ยังใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ขนมอบ ขนมหวาน เส้นบะหมี่และมักกะโรนี เป็นต้น

8.1 คุณค่าทางโภชนาการของไข่

ไข่เป็นแหล่งอาหารสำหรับตัวอ่อนของไก่ มันจึงเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

แม้ว่าไข่จะประกอบด้วยน้ำมากถึงประมาณ 74% แต่ไข่ก็เป็นแหล่งอาหารที่ให้โปรตีนที่มีคุณค่าสูง โปรตีนนี้มีอยู่ทั้งในไข่ขาวและไข่แดง โปรตีนของไข่ประกอบด้วยกรดอะมิโนครบทุกชนิดตามที่ร่างกายต้องการในปริมาณสูง นักโภชนาการจึงมักใช้ไข่เป็นมาตรฐานในการวัดคุณค่าของโปรตีนในอาหารอื่น ๆ ไข่ยังเป็นแหล่งสำคัญของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid)

ไข่ให้แร่ธาตุที่สำคัญคือ เหล็ก ฟอสฟอรัสและธาตุอื่นในปริมาณน้อย เหล็กอยู่ในไข่แดงเกือบทั้งหมด ไข่ยังมีแคลเซียม แต่แคลเซียมของไข่ส่วนใหญ่อยู่ที่เปลือก จึงไม่ถือว่าไข่เป็นแหล่งของแคลเซียม

ไข่มีวิตามินเอ อี เค ดี และวิตามินบี ต่าง ๆ รวมทั้งบีสิบสองด้วย ไข่แดงมีวิตามินเอสูง สีของไข่แดงไม่ได้แสดงปริมาณของวิตามินเอ เพราะไข่แดงมีทั้งวิตามินเอ ซึ่งไม่มีสีและโปรวิตามินเอซึ่งมีสีแสด สีของไข่แดงเกิดจากรงควัตถุแซนโธฟิลล์ (xanthophyll) ซึ่งไม่สามารถ

CM 480 305

เปลี่ยนเป็นวิตามินเอไข่แดงยังเป็นแหล่งธรรมชาติของวิตามินดี รองจากน้ำมันตับปลา ปริมาณของวิตามินดีขึ้นกับปริมาณแสงแดดที่ไก่ได้รับและขึ้นกับวิตามินดีในอาหารไก่

ไข่ขาวมีวิตามินบีสิบสองสูง แต่มีวิตามินบีหนึ่งน้อย และมีไนอาซีนน้อยมาก ส่วนวิตามินซีมีน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย

สรุปแล้ว ไข่จึงเป็นแหล่งสำคัญของโปรตีน, เหล็ก, วิตามิน, เอ, ดี และวิตามินบีสิบสอง

8.2 การเกิดไข่

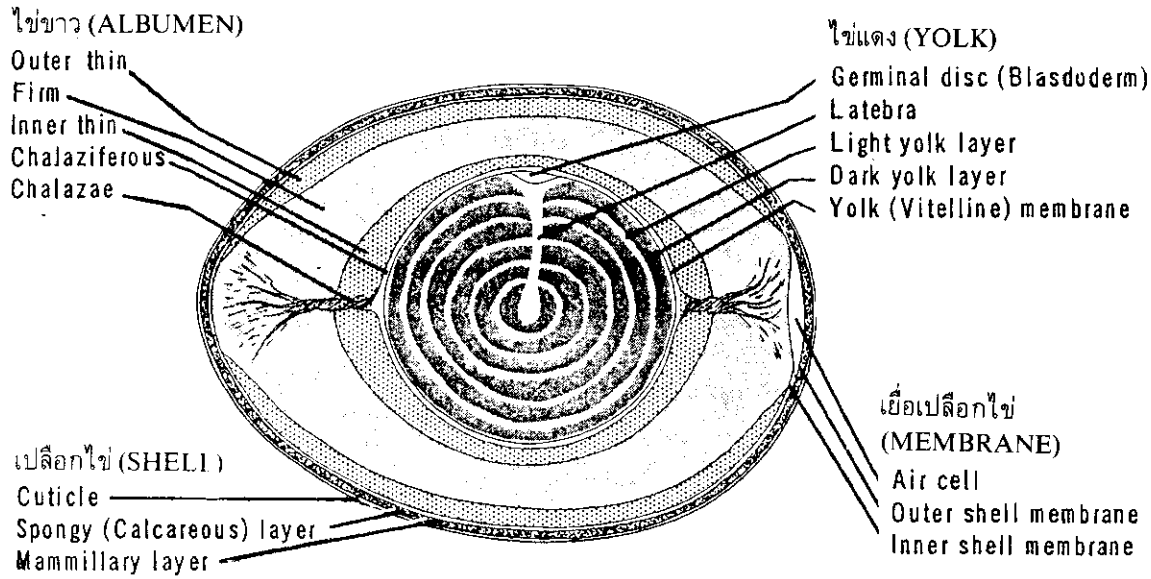
ไข่โดยธรรมชาติสร้างขึ้นเพื่อการสืบพันธุ์ มิใช่เพื่อเป็นอาหารของมนุษย์ ไข่แดงเป็นเซลล์เกิดจากรังไข่ (ovary) ของแม่ไก่โดยมีเยื่อหุ้มไข่แดง (vitelline membrane) หุ้มอยู่ เมื่อไข่แดงเจริญเต็มที่ ถุงไข่ (yolk sac หรือ follicular membrane) จะปล่อยไข่แดงเข้าไปในท่อนำไข่ (oviduct) ในท่อนำไข่ เซลล์จะผลิตไข่ขาวมาล้อมรอบไข่แดงและมีเยื่อเปลือกไข่ (shell membrane) มาหุ้ม หลังจากนั้นเซลล์ผลิตแร่ธาตุจะให้แคลเซียมและธาตุต่าง ๆ มาสร้างเป็นเปลือกไข่ ก่อนจะวางไข่จะมีของเหลวที่เป็นคอลลอยด์มาเคลือบที่เปลือก เมื่อไข่ออกมาแล้วจะแห้งเกิดเป็นนวลไข่ (cuticle) ไก่จะตกไข่ (ovulation) เสมอไม่ว่าไข่จะถูกผสมหรือไม่ ถ้ามีการผสมพันธุ์ สเปอร์ม (sperms) จะมาตามท่อนำไข่มาผสมกับไข่แดงก่อนที่ไข่ขาวจะมาหุ้ม เฉพาะไข่แดงที่ผสมแล้วจึงจะเกิดเป็นตัวอ่อน

8.3 โครงสร้างของไข่

ไข่ประกอบด้วยเปลือก 8 - 10% ไข่ขาว (albumen) 56 - 61% และไข่แดง 27 - 32% ของเหลวของไข่ทั้งหมดประกอบด้วยไข่แดงประมาณ 36% และไข่ขาวประมาณ 64% ส่วนประกอบของไข่แสดงอยู่ในรูปที่ 8.1

ไข่แดงประกอบด้วยเจอร์มินัลดิสค์ (germinal disc) ซึ่งมีสายแลทีบรา (latebra) ต่อไปยังศูนย์กลางของไข่แดง ไข่แดงมีชั้นสีเหลืองอ่อน (light yolk layer) และชั้นสีเหลืองเข้ม (dark yolk layer) สลับกัน และล้อมรอบด้วยเยื่อหุ้มไข่แดง ตรงกลางของไข่แดงมีสีขาว (white yolk) ซึ่งติดกับส่วนที่จะเจริญเป็นตัวอ่อนต่อไป (germ)

ไข่ขาวมีทั้งหมด 4 ชั้นในไข่ไก่ส่วนใหญ่ ได้แก่ ไข่ขาวข้นชั้นใน (chalaziferous layer) ซึ่งเป็นส่วนของไข่ขาวที่ติดกับเยื่อหุ้มไข่แดงและต่อเนื่องกับชาลาเซ่ (chalazae) ชั้นถัดมาข้างนอก



รูปที่ 8.1 ส่วนประกอบของไข่

เป็นไข่ขาวใสชั้นใน (inner thin white) ซึ่งห้อมล้อมด้วยไข่ขาวข้นชั้นนอก (outer thick white) ชั้นนอกสุดของไข่ขาวคือ ไข่ขาวใสชั้นนอก (outer thin white)

ถัดจากไข่ขาวเป็นเยื่อเปลือกไข่ (shell membrane) ซึ่งมี 2 ชั้น คือ ชั้นในและชั้นนอก เยื่อชั้นในบางกว่าเยื่อชั้นนอก ทั้งสองชั้นรวมกันมีความหนา 0.01 ถึง 0.02 มิลลิเมตร เยื่อนี้ช่วยป้องกันมิให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าไปในไข่

ชั้นนอกสุดของไข่คือ เปลือกไข่ ซึ่งประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ (94%) นอกจากนี้มีแมกนีเซียมคาร์บอเนตอยู่บ้าง (1%), แคลเซียมฟอสเฟต (1%) และสารอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีน (4%) เปลือกไข่ที่มีสีเกิดจากรงควัตถุ ooporphins ตามบริเวณผิวเปลือกไข่จะมีรูขนาดต่าง ๆ กันเป็นจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไป รูนี้เป็นทางผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนหรือก๊าซอื่น ๆ และมีโปรตีนเคอราทิน (keratin) มาอุดอยู่บางส่วน แต่คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำสูญเสียออกไปทางรูนี้ได้ และในบางกรณี เชื้อจุลินทรีย์ก็อาจผ่านเข้าสู่เยื่อเปลือกไข่ได้ทางรูนี้

ทางด้านป้านของไข่ระหว่างเยื่อเปลือกไข่ 2 ชั้น มีช่องอากาศ (air cell) ขณะที่ไข่อยู่ในตัวแม่ไก่จะมีอุณหภูมิสูงถึง 42 องศาเซลเซียส หลังจากวางไข่อุณหภูมิภายนอกเย็นลง ของเหลวในไข่จะหดตัว เมื่ออากาศผ่านเข้าทางรูเปลือกจะเกิดเป็นช่องอากาศขึ้น ช่องอากาศนี้จะขยายใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บไข่ ไข่ที่เก็บไว้นานช่องอากาศจะใหญ่ขึ้น เนื่องจากน้ำระเหยออกไปมาก ขนาดของช่องอากาศจึงใช้เป็นปัจจัยในการพิจารณาคุณภาพและความสดของไข่ได้

8.4 โครงสร้างและส่วนประกอบของเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่

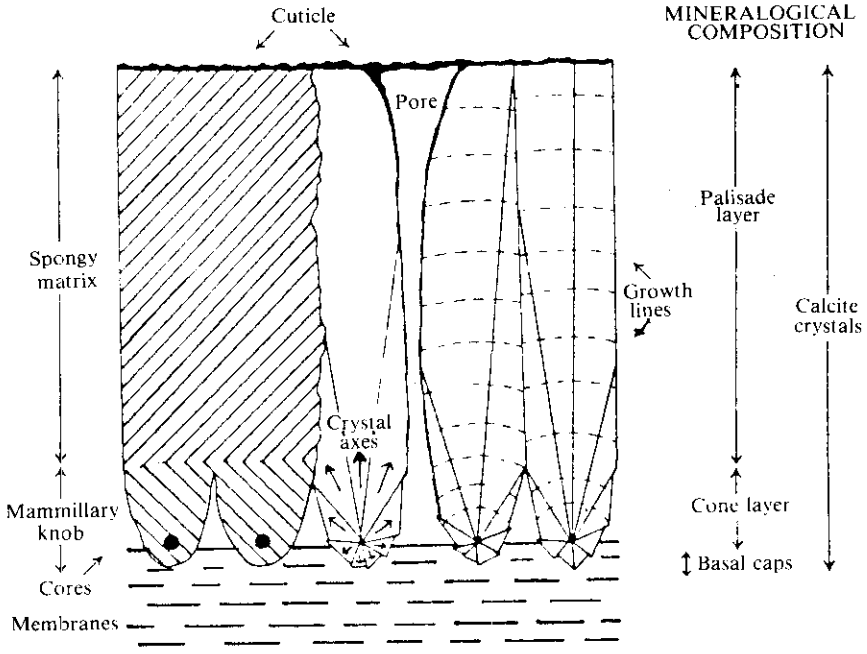
8.4.1 เปลือกไข่

เปลือกไข่ประกอบด้วยเยื่อพื้นหรือแมทริกซ์ (matrix) ซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีนสานกันเป็นตาข่ายและผลึกหินปูน (calcite) หรือแคลเซียมคาร์บอเน่ตในอัตราส่วน 1 : 50 นอกจากนี้บนผิวของเปลือกไข่ยังปกคลุมด้วยสารจำพวกโปรตีน เรียกว่า นวลไข่ (cuticle)

รูปที่ 8.2 เป็นแผนภาพแสดงส่วนของเปลือกไข่ตัดเป็นแฉก (radial section)

แมตริกซ์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แมมิลลารี แมตริกซ์ (mamillary matrix) และ สปองจี แมตริกซ์ (spongy matrix) การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า เส้นใยของแมตริกซ์ผ่านทะลุหินปูนแทนที่จะล้อมรอบกัน แมตริกซ์จึงมีผลต่อความแข็งแรงของเปลือกไข่ด้วย แมตริกซ์เป็นสารเชิงซ้อนโปรตีน-มิวโคโพลิแซกคาไรด์ (protein-mucopolysaccharide complex) ส่วนของโพลิแซกคาไรด์ประกอบด้วยคอนดรอยตินซัลเฟต เอ และบี (chondroitin sulfate A & B), กาแลกโตซามีน (galactosamine), กลูโคซามีน (glucosamine), กาแลกโตส, แมนโนส, ฟิวโคส (fucose) และกรดไซอาลิก (sialic acid)

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเปลือกไข่คือ แคลเซียม 98.2% ยังมีแมกนีเซียม 0.9% และฟอสฟอรัส 0.8% (อยู่ในเปลือกไข่ในรูปของฟอสเฟต) ปริมาณของแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้เปลือกไข่แข็งขึ้น



รูปที่ 8.2 แผนภาพแสดงเปลือกไข่ตัดตามขวาง

8.4.2 เยื่อเปลือกไข่ (Shell membrane)

เยื่อเปลือกไข่มี 2 ชั้น อยู่ระหว่างไข่ขาวและผนังด้านในของเปลือกไข่ เยื่อชั้นนอกติดแน่นกับผนังเปลือกด้านใน มีความหนาประมาณ 48 มิลลิไมครอน เยื่อชั้นในติดกับไข่ขาว

มีความหนาประมาณ 22 ไมครอน เยื่อเหล่านี้ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีน-โพลิแซกคาไรด์ เยื่อชั้นนอกมีเส้นใย 6 ชั้นวางสลับกันในทิศทางต่างกัน ในขณะที่เยื่อชั้นในมีเส้นใย 3 ชั้น ซึ่งขนานกับเปลือกไข่และตั้งฉากซึ่งกันและกัน โปรตีนของเยื่อเปลือกไข่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีปริมาณสูงคือ ฮิสติดีน, ซีสทีนและโพรลีน ถ้าเปรียบกับโปรตีนของนวลไข่และแมตริกซ์ โปรตีนของเยื่อเปลือกไข่มีปริมาณไกลซีนค่อนข้างต่ำ

บนผิวของเปลือกไข่มีสารจำพวกโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำเคลือบอยู่ เรียกว่า นวลไข่ (cuticle) นวลไข่เป็นสารพวกมิวโคโปรตีน (mucoprotein) ประกอบด้วยโปรตีน 90% ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีมาก คือ ไกลซีน, กรดกลูตามิก, ไลซีน, ซิสทีนและไทโรซีน ส่วนองค์ประกอบของส่วนที่เป็นโพลิแซกคาไรด์ของนวลไข่ ได้แก่ เฮกโซซามีน (hexosamine), กาแลกโตส, แมนโนสและฟิวโคส นวลไข่ช่วยป้องกันมิให้จุลินทรีย์ผ่านเข้าไปในไข่ และป้องกันมิให้สูญเสียน้ำได้ง่าย จากการศึกษาโดยอิเล็กตรอนไมโครกราฟ (electron micrographs) พบว่านวลไข่มี 2 ชั้น ชั้นหนึ่งที่อยู่ติดกับเปลือกมีลักษณะโปร่งนิ่ม (foamy appearence) ส่วนอีกชั้นหนึ่งที่อยู่ด้านนอกมีลักษณะอัดแน่นกว่า (more compact)

8.5 ส่วนประกอบของไข่ขาวและไข่แดง

8.5.1 ไข่ขาว

ไข่ขาวประกอบด้วยไข่ขาวใสชั้นนอก ไข่ขาวข้นชั้นนอก ไข่ขาวใสชั้นใน และไข่ขาวข้นชั้นใน (chalaziferous layer) อัตราส่วนและปริมาณความชื้นในแต่ละชั้น แสดงอยู่ในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 อัตราส่วนและปริมาณความชื้นของชั้นไข่ขาว

ชั้น	เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว		เปอร์เซ็นต์ความชื้น
	เฉลี่ย	ช่วง	
ไข่ขาวใสชั้นนอก	23.2	10 – 60	88.8
ไข่ขาวข้นชั้นนอก	57.3	30 – 80	87.6
ไข่ขาวใสชั้นนอก	16.8	1 – 40	86.4
ไข่ขาวข้นชั้นใน รวมทั้งชาลาเซ่	2.7		84.3

อัตราส่วนของไข่ขาวในแต่ละชั้นแตกต่างกันมากขึ้นกับพันธุ์ สภาพแวดล้อม ขนาดของไข่และอัตราเร็วของการวางไข่ อัตราส่วนของไข่ขาวชั้นต่อไข่ขาวชั้นอื่น ๆ ในไข่จากไก่แต่ละตัว จะค่อนข้างคงที่

น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญของไข่ขาว ปริมาณความชื้นลดลงจากชั้นนอกสุดของไข่ขาวจนถึงชั้นในสุด (ตารางที่ 8.1) ปริมาณความชื้นของไข่ขาวทั้งหมดอยู่ในช่วง 87 ถึง 89% ขึ้นกับพันธุ์และอายุของไก่

ส่วนประกอบของไข่ขาวแสดงอยู่ในตารางที่ 8.2 องค์ประกอบสำคัญของไข่ขาวนอกจากน้ำแล้วยังมีโปรตีน อายุของไก่มีผลต่อปริมาณของโปรตีนในไข่ขาว ปริมาณโปรตีนในไข่ขาวจะเพิ่มขึ้น 0.09 กรัม สำหรับน้ำหนักไข่ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 กรัม ปริมาณของลิปิดในไข่ขาวมีน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย

ตารางที่ 8.2 ส่วนประกอบของไข่ขาว ไข่แดงและไข่ทั้งฟอง

องค์ประกอบของไข่	เปอร์เซ็นต์ของแข็ง	เปอร์เซ็นต์โปรตีน	เปอร์เซ็นต์ลิปิด	เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต	เปอร์เซ็นต์เถ้า
ไข่ขาว	11.13	9.7 – 10.6	0.3	0.4 – 0.9	0.5 – 0.6
ไข่แดง	52.3 – 53.5	15.7 – 16.6	31.8 – 35.5	0.2 – 1.0	1.1
ไข่ทั้งฟอง	25 – 26.5	12.8 – 13.4	10.5 – 13.4	0.3 – 1.0	0.8 – 1.0

คาร์โบไฮเดรตในไข่ขาวอยู่ในรูปอิสระและรูปที่รวมกับโปรตีน คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดอาจมีมากถึง 1% และประมาณ 98% ของคาร์โบไฮเดรตอิสระ (ประมาณ 0.5% ของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด) ของไข่ขาวเป็นกลูโคส

ส่วนประกอบของแร่ธาตุที่สำคัญในเถ้า (ash) ของไข่ขาว แสดงอยู่ในตารางที่ 8.3 ส่วนประกอบของแร่ธาตุในไข่ขาวมีค่าไม่แน่นอน ปริมาณแร่ธาตุในอาหารไก่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณของแร่ธาตุจำเพาะในไข่ขาว ปัจจัยอื่น ๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ฤดูกาล เลี้ยงไก่และอายุของไก่ ก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย

ตารางที่ 8.3 ส่วนประกอบของแร่ธาตุในไข่ขาวและไข่แดง

แร่ธาตุ	เปอร์เซ็นต์ในไข่ขาว	เปอร์เซ็นต์ในไข่แดง
ซัลเฟอร์	0.195	0.016
โพแทสเซียม	0.145 – 0.167	0.112 – 0.360
โซเดียม	0.161 – 0.169	0.070 – 0.093
ฟอสฟอรัส	0.018	0.543 – 0.980
แคลเซียม	0.008 – 0.02	0.121 – 0.262
แมกนีเซียม	0.009	0.032 – 0.128
เหล็ก	0.0009	0.0053 – 0.011

8.5.2 ไข่แดง

ปริมาณของของแข็งในไข่แดงมีปริมาณ 50% ไข่แดงจากไข่สดมีปริมาณของแข็ง 52-53% แต่ปริมาณของของแข็งลดลง 2% เมื่อเก็บไข่ไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ ทั้งนี้เพราะน้ำจากไข่ขาวเคลื่อนเข้าไปในไข่แดงโดยแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) เนื่องจากความเข้มข้นของไข่แดงมากกว่าไข่ขาว

องค์ประกอบสำคัญของไข่แดงคือ โปรตีนและลิปิด ปริมาณขององค์ประกอบของไข่แดงแสดงอยู่ในตารางที่ 8.2 ปริมาณของโปรตีนของไข่แดงอยู่ในช่วง 15.7-16.6% ปริมาณของลิปิดในไข่แดงจากไข่หลายพันธุ์อยู่ในช่วง 32-36% ปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับพันธุ์ ไม่ได้ขึ้นกับอาหารที่ไก่บริโภค

ส่วนของลิปิดในไข่แดงประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 66% ฟอสฟอลิปิด 28% คอเลสเตอรอล 5% และลิปิดอื่น ๆ ในปริมาณน้อย ส่วนประกอบของฟอสฟอลิปิดในไข่แดงซึ่งมีผู้คำนวณไว้คือ ฟอสฟาติดิลคอลีน (phophatidyl choline) 73.0%, ฟอสฟาติดิลเอธานอลามีน (phosphatidyl ethanolamine) 15.0%, ไลโซฟอสฟาติดิลคอลีน (lysophosphatidyl choline) 15.0%, สฟิงโกไมเอลิน (sphingomyelin) 2.5%, ไลโซฟอสฟาติดิล-เอธานอลามีน (lysophosphatidyl ethanolamine) 2.1%, พลาสมาโลเจน (plasmalogen) 0.9% และอิโนซิตอลฟอสโฟลิปิด (inositol phospholipid) 0.6%

ตารางที่ 8.4 ส่วนประกอบของกรดไขมันในส่วนลิปิดของไข่แดงและลิปิดในอาหารไก่

Fatty Acid	% of Total Fatty Acids				
	Crude Lipid	Triglyceride	Lecithin	Cephalin	Dietary Lipid
16:0(กรดพาล์มิติก)	23.5	22.5	37.0	21.6	14.0
16:1	3.8	7.3	0.6	trace	2.7
18:0(กรดสเตียริก)	14.0	7.5	12.4	32.5	2.4
18:1 (กรดโอเลอิก)	38.4	44.7	31.4	17.3	29.1
18:2(กรดไลโนเลอิก)	16.4	15.4	12.0	7.0	44.4
18:3	1.4	1.3	1.0	2.0	3.2
20:4	1.3	0.5	2.7	10.2	0.8
20:5					
22:5	0.4	0.2	0.8	3.0	0.8
22:6	0.8	0.6	2.1	6.4	1.3

ส่วนประกอบของกรดไขมันขึ้นกับชนิดของกรดไขมันในอาหารที่ไก่บริโภค ปริมาณทั้งหมดของกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งส่วนใหญ่คือ กรดพาล์มิติก (palmitic acid) และกรดสเตียริก (stearic acid)จะไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของกรดไขมันในอาหารไก่ แต่กรดไลโนเลอิก(linoleic acid) ของไข่แดงจะเพิ่มขึ้น พร้อมกับมีการลดของกรดโอเลอิก เมื่อปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acids) ในอาหารเพิ่มขึ้น ปริมาณทั้งหมดของกรดพาล์มิติกและกรดสเตียริกในลิปิดของไข่แดง มักจะอยู่ระหว่าง 30-38% (ตารางที่ 8.4) ความเข้มข้นของกรดไขมันอิ่มตัวจะเท่ากับ 37% เมื่อไก่กินอาหารที่ปราศจากไขมัน

ปริมาณของกรดไขมันในลิปิดของไข่แดง แสดงอยู่ในตารางที่ 8.4 ปริมาณทั้งหมดของกรดพาล์มิติกและกรดสเตียริกในส่วนของไตรกลีเซอไรด์ มีประมาณ 30% ในขณะที่กรด 2 ตัวนี้ในฟอสฟอลิปิดมีมากถึง 49% ในเลซิธิน (lecithin) และ 54% ในเซฟาลิน (cephalin) ปริมาณของกรดโอเลอิกและไลโนเลอิก (linoleic acid) ของส่วนไตรกลีเซอไรด์มีมากกว่าในฟอสฟอลิปิด

คาร์โบไฮเดรตในไข่แดง (ทั้งรูปอิสระและรูปที่รวมกับโปรตีน) มีสูงถึง 1% เช่นเดียวกับในไข่ขาว ปริมาณของกลูโคสในคาร์โบไฮเดรตอิสระมีอยู่ 0.2% คาร์โบไฮเดรตอิสระทั้งหมด และที่รวมกับโปรตีนในไข่แดงมี 0.7% และ 0.3% ตามลำดับ คาร์โบไฮเดรตที่รวมกับโปรตีน ได้แก่ แมนโนส-กลูโคซามีนโพลีแซกคาไรด์ (mannoseglucosamine polysaccharides)

ปริมาณของแร่ธาตุในเถ้าของไข่แดง (yolk ash) มีประมาณ 1.1% (ตารางที่ 8.2) แร่ธาตุสำคัญของไข่แดง คือ ฟอสฟอรัส แคลเซียมและโพแทสเซียม (ตารางที่ 8.3) ฟอสฟอรัสบางส่วน (อาจเป็นฟอสเฟต) และโพแทสเซียมอยู่ในรูปที่แตกตัวเป็นไอออน

8.6 โปรตีนในไข่ขาว

ไข่ขาวอาจจะพิจารณาได้ว่า เป็นระบบโปรตีนที่ประกอบด้วยเส้นใยโอโวมิวซิน อยู่ในสารละลายเอเควียสของโกลบูลาร์โปรตีนหลายชนิด ส่วนประกอบของโปรตีนในชั้นไข่ขาวใส และไข่ขาวข้น ต่างกันเฉพาะที่ปริมาณของโอโวมิวซิน โปรตีนสำคัญของไข่ขาวสามารถแยกได้โดยการแยกลำดับส่วนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต และทำให้บริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคของ ion – exchange โดยใช้คาร์บอกซิเมธีลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose) และไดเอธีลอะมิโนเอธีลเซลลูโลส (diethylaminoethylcellulose) โปรตีนของไข่ขาว, คุณสมบัติและลักษณะบางอย่างของโปรตีนเหล่านี้ แสดงอยู่ในตารางที่ 8.5

โปรตีนสำคัญ ได้แก่ โอวัลบูมิน, คอนอัลบูมิน, โอโวมิวคอยด์, ไลโซไซม์ และโกลบูลิน

เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับแยกโปรตีนในไข่ขาวโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม คือ วิธีทางอิเล็กโตรฟอริซิส (electrophoretic methods) เช่น moving – boundary electrophoresis, paper electrophoresis, Starch – gel electrophoresis และ polyacrylamide disc – gel electrophoresis เป็นต้น

1. **โอวัลบูมิน** (Ovalbumin)

โอวัลบูมินเป็นส่วนของโปรตีนที่มีมากในไข่ขาว จัดเป็นพวกฟอสโฟไกลโคโปรตีน (phosphoglycoprotein) เพราะมีคาร์โบไฮเดรตและหมู่ฟอสเฟตเกาะอยู่กับโซ่โพลีเปปไทด์ โอวัลบูมินที่บริสุทธิ์ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ตัว คือ เอ-1, เอ-2 และเอ-3 (A_1, A_2 and A_3) ซึ่งแตกต่างกันเฉพาะที่ปริมาณของฟอสฟอรัส เอ-1 มีหมู่ฟอสเฟต 2 หมู่ต่อโมเลกุล, เอ-2 มี 1 หมู่, ส่วน เอ-3 ไม่มีเลย อัตราส่วนสัมพัทธ์ขององค์ประกอบ เอ-1, เอ-2 และ เอ-3 คือประมาณ 85 : 12 : 3 โมเลกุลของโอวัลบูมินประกอบด้วยหมู่ซัลไฟดริล 4 หมู่ และหมู่ไดซัลไฟด์ 2 หมู่

2. **คอนอัลบูมิน** (Conalbumin)

คอนอัลบูมินได้จากการแยกลำดับส่วนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต และประกอบด้วย 2 รูป ในอัตราส่วนประมาณ 4 : 1 คอนอัลบูมินไม่มีฟอสฟอรัสหรือหมู่ซัลไฟดริลในโมเลกุล แต่มีเฮกโซส (hexose) 0.8% และเฮโซซามีน (hexosamine) 1.4%

คอนอัลบูมินทนต่อความร้อนน้อยกว่าโอวัลบูมิน แต่ถูกแปลงสภาพที่ผิว (surface denaturation) น้อยกว่าโอวัลบูมิน จากการวิจัยพบว่า 1% ของคอนอัลบูมินในฟอสเฟตไบคาร์-

บอเนตบัฟเฟอร์ (phosphate – bicarbonate buffer) ทนความร้อนได้น้อยที่สุดที่ pH ใกล้ 6 ที่ pH นี้ 40% ของคอนอัลบูมินถูกแปลงสภาพระหว่างที่ทำให้ร้อนถึง 57 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที คอนอัลบูมินที่ pH 9 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อสารละลายของโปรตีนถูกต้มให้ร้อนภายใต้สภาวะเดียวกัน การทนต่อความร้อนของคอนอัลบูมินในไข่ขาวคล้ายคลึงกับคอนอัลบูมินในบัฟเฟอร์

ตารางที่ 8.5 โปรตีนในไข่ขาว

	ปริมาณสัมพัทธ์ในไข่ขาว (%)	Isoelectric point (pH)	น้ำหนักโมเลกุล (dal)	ลักษณะเฉพาะ
Ovalbumin	58	4.6	45,000	phosphoglycoprotein
Conalbumin	13	6.6	80,000	จับกับโลหะโดยเฉพาะเหล็ก
Ovomucoid	11	3.9 – 4.3	28,000	ยับยั้ง Trypsin
Lysozyme	3.5	10.7	14,600	ทำลายแบคทีเรียบางส่วน
Ovoglobulin G_2	4.0	5.5	30,000 – 45,000	– ช่วยในการยืนฟูของไข่ขาว
Ovoglobulin G_3	4.0	5.8	?	–
Ovomucin	1.5	?	210,000	Sialoprotein
Flavoprotein	0.8	4.1	35,000	จับกับ riboflavin
Ovoglycoprotein	0.5?	3.9	24,000	Sialoprotein
Ovomacroglobulin	0.5	4.5 – 4.7	760,000 – 900,000	?
Ovoinhibitor	0.1	5.2	49,000	ยับยั้งเอ็นไซม์ที่ย่อยโปรตีนหลายชนิด
Avidin	0.05	9.5	67,000	จับกับ Biotin

ไดเวเลนต์และไตรเวเลนต์โลหะไอออน (di – and trivalent metallic ions) ถูกจับอย่างแน่นหนาโดยคอนอัลบูมิน โลหะไอออน Fe^{+3}, Al^{+3}, Cu^{+2} หรือ Zn^{+2} 2 อะตอมต่อ 1 โมลกุลของคอนอัลบูมิน เกิดสารเชิงซ้อนที่เสถียรที่ pH ประมาณ 6 สารเชิงซ้อนเหล่านี้มีสีแดง, ไม่มีสี, สีเหลืองและไม่มีสีตามลำดับ สารเชิงซ้อนคอนอัลบูมินกับโลหะไอออนทนต่อความร้อน เชื่อกันว่าไอออนของเหล็กถูกล้อมรอบด้วยหมู่ฟินอลิกไฮดรอกซีล (phenolic hydroxyl groups) 3 หมู่ และคาร์บอเนตไอออน (carbonate ion) 1 หมู่

3. **โอโวมิวคอยด์** (Ovomucoid)

โอโวมิวคอยด์เป็นไกลโคโปรตีนซึ่งมีอยู่ 3 รูป ไกลโคโปรตีนทั้ง 3 รูปนี้ มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ทริปซิน (trypsin) ส่วนประกอบคาร์โบไฮเดรตของโอโวมิวคอยด์คือ ดี – กาแลกโตส (D – galactose) 1.0 – 1.5%, ดี – แมนโนส (D – mannose) 4.3 – 4.7%, 2 – อะมิโน – 2 – ดีออกซิกลูโคส (2 – amino – 2 – deoxyglucose) 12.5 – 15.4%, กรดไซอาลิก (sialic acid) 0.4 – 4%, และเฮกโซส 6 – 9% คาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่เป็นโอลิโก-แซกคาไรด์ (oligosaccharides) ซึ่งแต่ละตัวจะติดกับโพลีเปปไทด์โดยทางแอสพาราจินิลเรซิดิว (asparaginyl residue) โพลิเปปไทด์ซึ่งมีพันธะไดซัลไฟด์ 8 พันธะ ประกอบด้วยโซ่โพลิเปปไทด์ที่มีโครงสร้างรูปเฮลิกซ์ (helical structure) 22%

โอโวมิวคอยด์ที่อยู่ในตัวกลางที่เป็นกรด จะทนต่อการถูกแปลงสภาพโดยความร้อน แต่ในสารละลายด่างโปรตีนนี้จะถูกแปลงสภาพอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

4. **ไลโซไซม์** (Lysozyme)

ไลโซไซม์เป็นเอ็นไซม์ที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และประกอบด้วยองค์ประกอบที่สามารถแยกโดย cation – exchange chromotography มันมีจุดไอโซอิเล็กตริก = 10.7 ซึ่งสูงกว่าโปรตีนตัวอื่น ๆ ของไข่ขาวมาก และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด (14.600)

ไลโซไซม์ประกอบด้วยกรดอะมิโนเรซิดิว 120 หน่วย และเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างปฐมภูมิที่กระจ่างแล้ว คือ ประกอบด้วยพันธะไดซัลไฟด์ 4 พันธะ แต่ไม่มีหมู่ – SH อิสระบนแต่ละโมเลกุลของโพลีเปปไทด์

การทำลายเอ็นไซม์นี้โดยใช้ความร้อนขึ้นกับ pH และอุณหภูมิ ไลโซไซม์ที่อยู่ในไข่ขาวจะทนความร้อนได้น้อยกว่าเมื่ออยู่ตามลำพังในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ระหว่าง pH 7 และ 9 ไข่ขาวที่ต้มเป็นเวลา 10 นาทีที่ 63.5 องศาเซลเซียส ไลโซไซม์จะถูกทำลายมากขึ้น ขณะที่ pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 7

5. **โอโวมิวซิน** (Ovomucin)

โอโวมิวซินเป็นไกลโคโปรตีนซึ่งมีส่วนในการทำให้ไข่ขาวข้นมีลักษณะคล้ายเจล (gel – like structure) โปรตีนนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในสารละลายเกลือเจือจางที่ pH 7 หรือมากกว่า โอโวมิวซินประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ตัว ซึ่งสามารถแยกโดย moving – boundary electrophoresis ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตของไกลโคโปรตีนที่ทำให้บริสุทธิ์แล้ว มีประมาณ 30% โดยมีเฮกโซซามีน 10-12%, เฮกโซส 15% และกรดไซอาลิก 2.6-8%

โอโวมิวซินที่ทำให้บริสุทธิ์ จะทนต่อการถูกแปลงสภาพโดยความร้อน จากการวิจัยพบว่าสารละลายโอโวมิวซินที่ pH ระหว่าง 7.1 และ 9.4 จะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงความทึบแสง (optical density) ระหว่างที่ต้มให้ร้อนประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

โอโวมิวซินและไลโซไซม์สามารถเกิดสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ โดยแรงกระทำไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction) ที่มีต่อกัน ที่ pH เกินกว่าช่วง 7.2-10.4 แรงกระทำระหว่างโปรตีน 2 ชนิดนี้จะลดลงขณะที่ pH เพิ่มขึ้น ในไข่ขาว การเกิดสารเชิงซ้อนจะลดลง ขณะที่ pH เข้าใกล้จุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) (P_I = 10.7) ของไลโซไซม์ เชื่อกันว่าสารเชิงซ้อนโอโวมิวซิน-ไลโซไซม์มีบทบาทสำคัญในการทำให้ไข่ขาวข้นใสขึ้นในระหว่างเก็บไข่

6. **โปรตีนอื่น ๆ ในไข่ขาว**

1. อะวิดิน (Avidin) เป็นโปรตีนที่จับกับไบโอติน (Biotin) ได้ ประกอบด้วยองค์-ประกอบ 3 ตัวคือ เอ บี และ ซี

2. โอโวโกลบูลิน จี-2 และ จี-3 (Ovoglobulins G_2 and G_3) เป็นสารที่ช่วยให้ไข่ขึ้นฟู (foaming agent) ได้ดีที่สุด

3. โอโวอินฮีบิเตอร์ (Ovoinhibitor) สามารถยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ทริปซินและไคโมทริปซิน (chymotrypsin)

4. แฟลโวโปรตีน (Flavoprotein) ประกอบด้วยอะโพโปรตีน (apoprotein) 2 ชนิด ซึ่งจับไรโบแฟลวิน (ribolfavin) ไว้อย่างแน่นหนา

8.7 โครงสร้างจุลภาคของอนุภาคในไข่แดง (Microstructure of yolk particles)

ไข่แดงเป็นอิมัลชันแบบไขมันในน้ำ(fat-in-water emulsion) ประกอบด้วยปริมาณสารแห้งประมาณร้อยละ 50 และในสารแห้งนี้ประกอบด้วยโปรตีน(หนึ่งในสาม)และลิปิด(สองในสาม) ระหว่างเก็บไข่เป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ น้ำในไข่ขาวจะแพร่เข้าไปในไข่แดง ทำให้ปริมาณของแข็งในไข่แดงลดลงร้อยละ 2-4

CM 480 317

ไข่แดงประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันหลายแบบซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. **ไข่แดงชนิดหยด**(Yolk droplets) ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันมากหลายขนาด มีเส้นผ่าศูนกลางอยู่ในช่วง 20-150 μm ไข่แดงชนิดหยดมีลักษณะคล้ายไขมันหยดเล็กๆ ประกอบด้วยลิปิดเป็นส่วนใหญ่และหยดไข่แดงบางส่วนมีเยื่อหุ้มเป็นโปรตีน มันจึงเป็นสารผสมของไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ(LDL)

2. **ไข่แดงชนิดเม็ด**(Yolk granules) เป็นเม็ดเล็กๆที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3-1.6 μm มีขนาดเล็กกว่าไข่แดงชนิดหยดมากและมีขนาดสม่ำเสมอกว่าไข่แดงชนิดหยด แต่รูปร่างไม่สม่ำเสมอ ประกอบด้วยโปรตีนแต่ก้มีลิปิดและแร่ธาตุรวมอยู่ด้วย

การแยกไข่แดงในปัจจุบันใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงที่มีความเร็วสูง(high-speed centrifugation) และควรมีสารอิเลคโตรไลท์(electrolytes)อยู่ด้วย เพื่อช่วยให้ส่วนต่างๆของไข่แดงได้ผลดีขึ้น รูปที่ 8.2 แสดงวิธีการแยกสารละลายเจือจางของไข่แดงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง ไข่แดงจะถูกแยกออกเป็นเม็ด(granules)ซึ่งนอนก้นอยู่ และส่วนที่เป็นของเหลวใส เรียกว่า พลาสม่า(plasma)

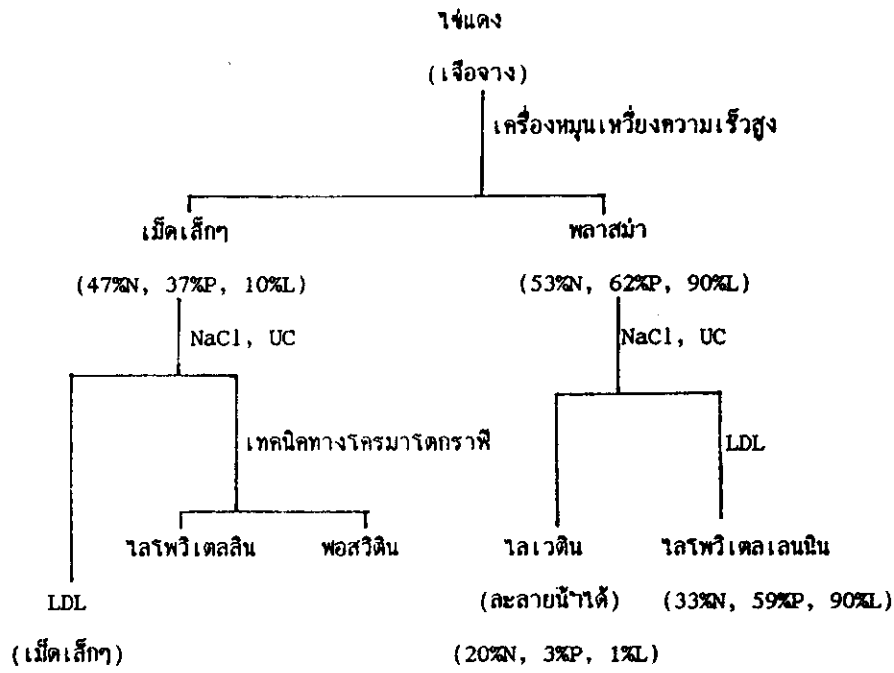
ถ้าเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ไข่แดงชนิดเม็ดจะถูกแยกออกเป็นไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ(lowdensity lipoprotein หรือ LDL)และสารเชิงซ้อนไลโพวิเตลลิน-ฟอสวิติน (Lipovitellin-phosvitin complex)ซึ่งสามารถแยกออกโดยเทคนิกทางโครมาโตกราฟี

ในส่วนของพลาสม่า ถ้ามีสารละลายโซเดียมคลอไรด์อยู่และมีการหมุนเหวี่ยงต่อไปจะได้ไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ(LDL)ลอยอยู่ซึ่งได้แก่ ไลโพวิเตลเลนนิน(lipovitellenin)และอีกส่วนหนึ่งที่ละลายน้ำได้คือ ไลเวติน(Livetin)

8.8 โปรตีนและไลโพโปรตีนในไข่แดงชนิดเม็ด

ส่วนที่เป็นไข่แดงชนิดเม็ดประกอบด้วย 19-23% ของของแข็งในไข่แดง และประมาณ 15% ของของเหลวในไข่แดง ส่วนประกอบของไข่แดงชนิดเม็ดและของพลาสม่าไม่รวมน้ำแสดงอยู่ในตารางที่ 8.6 ส่วนของลิปิดประกอบด้วยฟอสฟอลิปิดประมาณ 37% ซึ่งมีฟอสฟาติดิลคอลีนเป็นส่วนใหญ่(82%)และฟอสฟาติดิลเอธาโนลามีน(15%)

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของไข่แดงคือ พลาสม่าซึ่งมีอยู่ประมาณ 78% ของของเหลวในไข่แดง ปริมาณความชื้นของพลาสม่าประมาณ 49% ส่วนประกอบของพลาสม่าไม่รวมน้ำแสดงอยู่ในตารางที่ 8.6



รูปที่ 8.2 ขั้นตอนการแยกไข่แดง (เปอร์เซนต์ที่แสดงเป็นปริมาณทั้งหมดของไข่แดง)
N:ไนโตรเจน, P:ฟอสฟอรัส, L:ลิปิด, UC:เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง
LDL:ไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ

ตารางที่ 8.6 ส่วนประกอบของเม็ดไข่แดงและพลาสม่าของไข่แดง

สัดส่วนของ	ลิปิด	โปรตีน	แร่ธาตุ
ไข่แดง	63.5	32.4	2.1
เม็ดไข่แดง	6.9	16.1	1.4
ไลโพวิเตลลิน(HDL)[ก]	3.5	12.3	
ฟอสวิติน		4.6	
LDL[ข]	2.5	0.3	
พลาสม่า	59.3	13.9	1.5
ไลเวติน		10.6	
LDL[ข]	59.4	6.6	

ข้อมูลทั้งหมดแสดงเป็นร้อยละของไข่แดงแห้ง ก=High density lipoprotein ข=Low density lipoprotein

CM 480

โปรตีนและไลโพโปรตีนในไข่แดงชนิดเม็ด(Granules)

โปรตีนและไลโพโปรตีนในไข่แดงชนิดเม็ด ได้แก่ แอลฟ่า- และ เบต้า-ไลโพวิเตลลิน (α- and β-Lipovetellin) 70%, ฟอสวิติน(Phostin) 16%, และไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein) 12% สารเชิงซ้อนฟอสวิติน-ไลโพวิเตลลิน(Phosvitin-lipovitellin complex)เป็นหน่วยพื้นฐานของไข่แดงชนิดเม็ด หน่วยย่อยอิเลคตรอนหนาแน่น(electron-dense subunit)ในไข่แดงชนิดเม็ดประกอบด้วยไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ล้อมรอบด้วยฟอสวิตินซึ่งเป็นเส้น(Phosvitin strands)โดยมีไลโพวิเตลลินเกาะอยู่ ฟอสวิตินเป็นฟอสโฟโปรตีน ส่วนไลโพวิเตลลินและไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำเป็นสารเชิงซ้อนลิปิด-โปรตีน

1. ฟอสวิติน (Phosvitin)

ฟอสวิตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 36,000 และ 40,000 ประกอบด้วยฟอสฟอรัสประมาณ 10% และคิดเป็น 80% ของฟอสฟอรัสในโปรตีนของไข่แดง ฟอสฟอโปรตีนนี้สามารถแยกได้โดย moving – boundary electrophoresis ออกเป็นสามพีค แต่ถ้าวิเคราะห์โดย ultracentrefugation จะเห็นเป็นเนื้อเดียวกัน จากการวิเคราะห์ไม่พบซิสเทอิน (cysteine) และซีสทีน (cyctine) ในฟอสวิติน แต่มีความเข้มข้นของเซอรีน (serine) สูง (31% ของกรดอะมิโนเรซิดิวทั้งหมด) ฟอสเฟตในโปรตีนเข้าใจว่าจะติดกับเซอรีนโดยพันธะเอสเทอร์

เฟอร์ริกไอออนจับกับฟอสวิตินอย่างแน่นหนา เกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่ละลายได้

2. ไลโพวิเตลลิน (Lipovitellin)

เป็นส่วนของไลโพโปรตีนความหนาแน่นสูง สามารถแยกออกเป็นแอลฟาและเบต้า-ไลโพวิเตลลิน โดย moving – boundary electrophoresis หรือโดยโครมาโตกราฟี ใช้คอลัมน์ที่บรรจุด้วยไฮดรอกซิอะปาไตต์ (hydroxyapatite), โดเวกซ์ – 1 (Dowex – 1) หรือไตรเอธีลอะมิโน-เอธีลเซลลูโลส (Triethylamine – ethyl cellulose หรือ TEAE) ปริมาณของลิปิดและฟอสฟอรัสของโปรตีนเหล่านี้ ขึ้นกับชนิดของคอลัมน์ที่ใช้ในการแยก (ตารางที่ 8.7) ลิปิดในแอลฟาและเบต้า-ไลโพโปรตีนประกอบด้วยลิปิดที่เป็นกลาง 40% และฟอสฟอลิปิด 60% ส่วนของฟอสฟอลิปิดของไลโพโปรตีนแต่ละชนิดประกอบด้วย ฟอสฟาติดิลคอลีน 75%, ฟอสฟาติดิลเอธาโนลามีน 18% และสฟิงโกไมเอลิน (sphingomyelin) และไลโซฟอสฟอลิปิด (lysophospholipids) 7%

ที่ pH ต่ำกว่า 7 ไลโพโปรตีนเหล่านี้อยู่ในรูปไดเมอร์ (dimers) อย่างไรก็ตาม การเพิ่ม pH ทำให้ไลโพโปรตีนค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นโมโนเมอร์ น้ำหนักโมเลกุลของแอลฟาและเบต้าไลโพโปรตีนไดเมอร์ มีค่าประมาณ 400,000

ตารางที่ 8.7 ปริมาณของลิปิดและปริมาณฟอสฟอรัสในโปรตีนของแอลฟาและเบต้า-ไลโพวิเตลลิน (LV) แยกโดยใช้คอลัมน์โครมาโตกราฟี

ประเภทของคอลัมน์	ปริมาณลิปิด (%)		ฟอสฟอรัสของโปรตีน (%)	
	α – LV	β – LV	α – LV	β – LV
Hydroxyapatite (HA)	20	20	1.20	0.45
Dowex 1, แล้วต่อด้วย HA	22	22	0.50	0.27
TEAE cellulose	14.6	16.5	0.54	0.28

8.9 โปรตีนและไลโพโปรตีนในพลาสมา

พลาสมาประกอบด้วยส่วนที่เป็นโกลบูลาร์โปรตีน เรียกว่า ไลเวติน (livetin) และส่วนของไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (low – density lipoprotein fraction) ส่วนของไลเวตินและไลโพโปรตีนมีอยู่ประมาณ 11 และ 66% ของของแข็งในไข่แดงตามลำดับ

1. ไลเวติน (Livetin)

ส่วนของไลเวตินประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ชนิดคือ แอลฟา-, เบต้า- และแกมม่า-ไลเวติน ซึ่งแยกได้โดย moving – boundary electrophoresis และ paper electrophoresis แต่ถ้าแยกด้วย disk gel electrophoresis จะเห็นแถบโปรตีน (protein bands) ถึง 16 แถบ ส่วนประกอบทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของแอลฟา-, เบต้า- และแกมม่า-ลิเวติน แสดงอยู่ในตารางที่ 8.7 เชื่อกันว่าไลเวตินอนุพันธ์จากเลือดของไก่โดยมีผู้พิสูจน์ว่า แอลฟา-ไลเวตินคือ ซีรัมแอลบูมิน (serum albumin), เบต้า-ไลเวตินเป็น α_1 – ไกลโคโปรตีน (α_1 – glycoprotein และแกมม่า-ไลเวตินเป็นแกมม่า-โกลบูลิน

2. ไลโพวิเตลเลนิน หรือ ไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (Lipovitellenin or Low-density lipoprotein, LDL)

ส่วนของไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำของไข่แดง มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.98 และสามารถแยกได้โดยวิธี floatation LDLที่บริสุทธิ์ประกอบด้วยลิปิด 84-89% ซึ่งประกอบด้วยลิปิดที่เป็นกลาง 74% และฟอสฟอลิปิด 26% ฟอสฟอลิปิดประกอบด้วยฟอสฟาติดิลคอลีน 71-76%, ฟอสฟาติดิลเอธานอลามิน 16-20% และสฟิงโกไมเอลินและไลโซฟอสฟอลิปิด 8-9%

โดยใช้เทคนิคทาง differential floating สามารถแยก LDL ออกเป็น 2 ส่วนคือ LDL_1

ตารางที่ 8.7 ส่วนประกอบของไลเวติน

	α – Livetin	β – Livetin	γ – Livetin
Nitrogen (%)	14.3	14.3	15.6
Hexose (%)	–	7	2.6
Hexosamine	–	–	1.8
น้ำหนักโมเลกุล	80,000	45,000	150,000

และ LDL_2 ส่วนประกอบของ LDL_1 และ LDL_2 คล้ายคลึงกัน (ตารางที่ 8.8) ลิปิดทั้งหมดของ LDL_1 ประมาณ 87-89% ส่วน LDL_2 มีปริมาณลิปิดประมาณ 83-86% ลิปิดจาก LDL ทั้ง 2 ส่วนประกอบด้วยฟอสฟอลิปิด 25-28%, คอเลสเตอรอล 3.3%, กรดไขมันอิสระ 5% และส่วนที่เหลือเป็นไตรกลีเซอไรด์ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ LDL_1 และ LDL_2 ประมาณ 10 ล้าน และ 3 ล้านตามลำดับ

ไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำเป็นรูปทรงกลม ที่มีแกนเป็นไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride core) ซึ่งมีฟอสฟอลิปิด และโปรตีนปกคลุมอยู่

ตารางที่ 8.8 ส่วนประกอบของไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL)

	LDL_1	LDL_2
Total lipid, %	89	86
lipid phosphorus	1.0	1.14
lipid molar N/P ratio	1.04	1.14
cholesterol, % of lipid	3.3	3.4
free fatty acid, % of lipid	5	4.5
Phospholipid composition, %		
phosphatidyl choline	84	83
phosphatidyl ethanolamine	13	14
Non – lipid residue, %	11	14
nitrogen, % of non – lipid residue	14.8	13.7
phosphorus, % of non – lipid residue	0.15	0.16

8.10 การจัดระดับชั้นของไข่และการตรวจคุณภาพของไข่

การจัดระดับชั้น (grading) ของไข่ อาจทำได้ 2 วิธีคือ

1. **จัดตามขนาดของไข่** (size grading) โดยถือน้ำหนักของไข่เป็นเกณฑ์ สามารถจัดขนาดได้หลายระดับ ดังแสดงในรูปที่ 8.2

ขนาดของไข่	น้ำหนักต่อโหล (ออนซ์)
ขนาดใหญ่สุด (jumbo)	30
ขนาดใหญ่พิเศษ (extra large)	27
ขนาดใหญ่ (large)	24
ขนาดกลาง (medium)	21
ขนาดเล็ก (small)	18
ขนาดจิ๋ว (peewee)	15

รูปที่ 8.2 การจัดลำดับชั้นของไข่ตามขนาดของโซ่

2. **จัดตามคุณภาพของไข่** (quality grading) โดยการพิจารณาปัจจัยต่อไปนี้

ก. คุณภาพภายนอก โดยพิจารณาจากความสะอาดของเปลือกและรูปร่างของไข่ (รูปที่ 8.3)

ข. คุณภาพภายใน โดยพิจารณาจากช่องอากาศ ไข่แดงและไข่ขาว

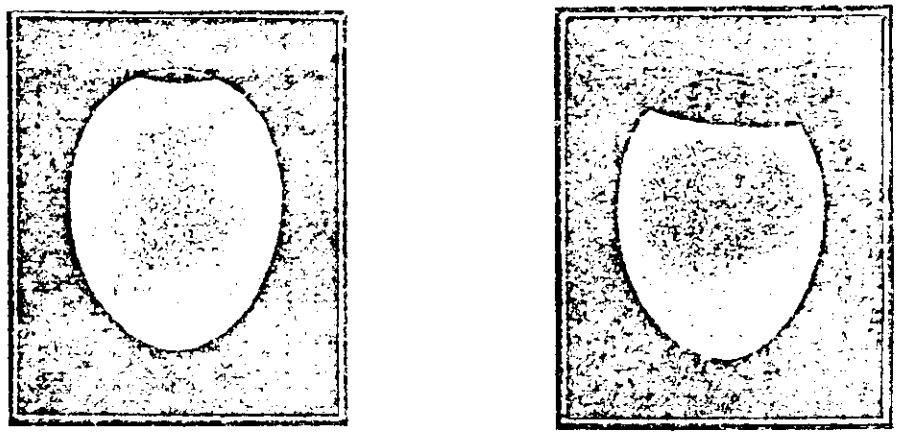
ค. คุณภาพเมื่อต่อยไข่แล้ว โดยพิจารณาจากพื้นที่ที่แผ่ออกของไข่แดง ไข่ขาวข้นและไข่ขาวใส (รูปที่ 8.4)

ง. คุณภาพเมื่อทำไข่ให้สุก โดยการพิจารณาจากตำแหน่งของไข่แดงหลังจากต้มหรือทอด (รูปที่ 8.5)

ในการจัดระดับคุณภาพของไข่ ถ้าเป็นไข่ใหญ่และสด ถือว่ามีคุณภาพยอดเยี่ยม จัดเป็นระดับ AA ส่วนไข่ที่สดน้อยลงจะจัดลำดับรองลงมาเป็นเกรด (grade) A, B และ C ตามลำดับ การวัดคุณภาพของไข่ที่นิยมใช้ทางอุตสาหกรรมค้าไข่คือ การส่องไข่กับไฟ (candling) โดยยกไข่ขึ้นส่องด้วยดวงไฟขนาด 60 วัตต์ การส่องไข่จะเอาด้านป้านขึ้นและหมุนไปรอบ

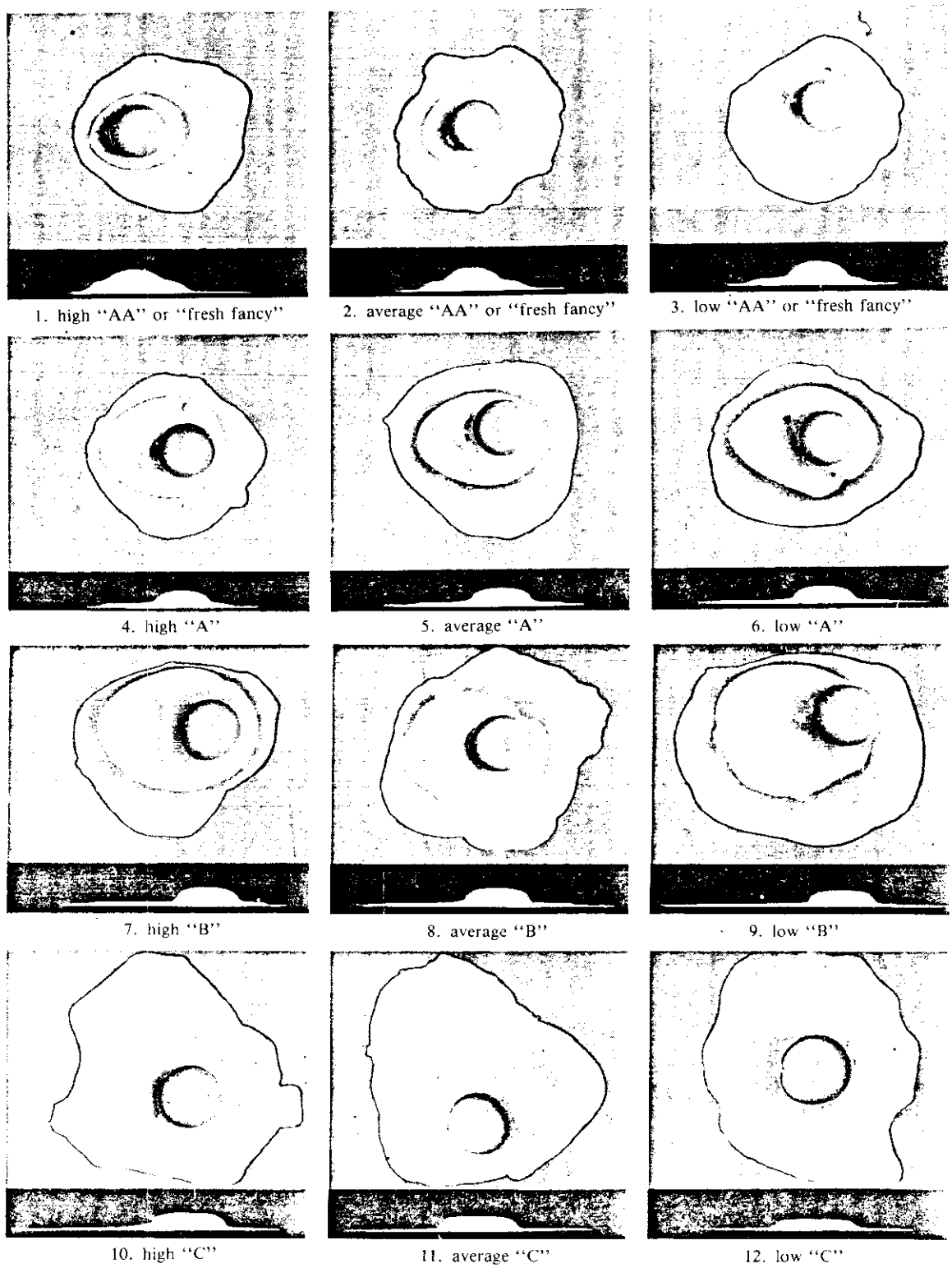
แกนยาวของไข่ สามารถเห็นรอยตำหนิได้หลายอย่าง เช่น ลักษณะของเปลือกไข่ ขนาดของช่องอากาศ ขนาด สี ตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของไข่แดง ถ้าไข่ขาวข้นจะมองเห็นไข่แดงไม่ชัด และไข่แดงจะเคลื่อนไหวช้า ๆ ถ้ามีจุดเลือด (blood spot) และจุดเนื้อ (meat spot) การเจริญเติบโตของตัวอ่อนหรือจุดเน่า ไข่ที่มีตำหนิดังกล่าวจะจัดเป็นไข่เกรด C

ลักษณะของไข่ที่ระดับชั้นคุณภาพต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 8.9 ระดับคุณภาพของไข่ขึ้นกับความสด ไข่สดมีกลิ่นรสดีกว่าและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า สามารถแยกไข่ขาวและไข่แดงออกจากกันได้ง่ายกว่า คุณภาพของไข่ไม่ขึ้นกับสีของเปลือกและสีของไข่แดง ทั้งนี้เพราะสีของเปลือกไข่ขึ้นกับพันธุ์ของไก่ ส่วนสีของไข่แดงขึ้นกับอาหารที่ไก่บริโภค เช่น ถ้าไก่บริโภคอาหารที่มีแคโรทีนอยด์สูง ไข่แดงจะมีสีเข้มขึ้น



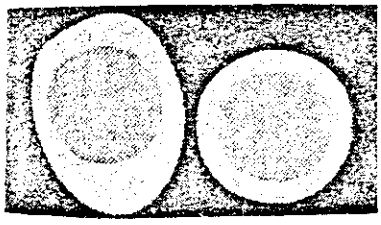
Grade AA	Grade C
1. เปลือก สะอาด ไม่แตก รูปทรงปกติ	1. เปลือก สะอาด อาจมีรอยเปื้อน ไม่แตก
2. ช่องอากาศ ขนาดไม่เกิน 1/8 นิ้ว	2. ช่องอากาศ ขนาดใหญ่เกิน 3/8 นิ้ว
3. ไข่ขาว ข้นเกาะกันแน่น และปราศจากจุดเลือดและจุดเนื้อ	3. ไข่ขาว เนื้อเหลว มีจุดเลือดและจุดเนื้อ
4. ไข่แดง อยู่ตรงกลาง มองเห็นไม่ชัด ไม่มีตำหนิ	4. ไข่แดง ไม่อยู่ตรงกลาง ขนาดใหญ่มองเห็นชัด เคลื่อนที่ได้และมีตัวอ่อน

รูปที่ 8.3 ลักษณะของไข่มีคุณภาพสูงสุด (AA) และไข่เก่า (C)

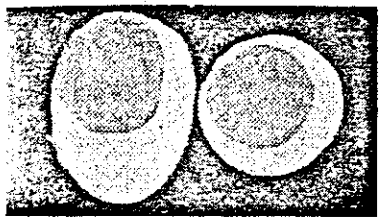


รูปที่ 8.4 ลักษณะของไข่ทั้ง 4 เกรด คือ AA, A, B, C

ไข่ต้ม

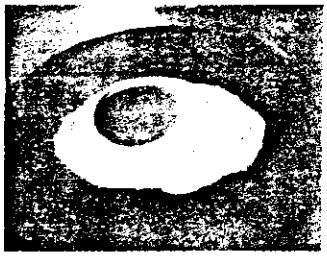


Grade AA

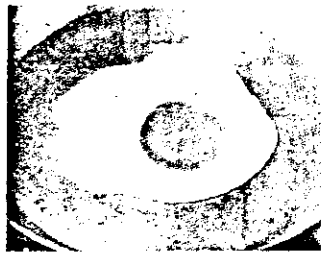


Grade C

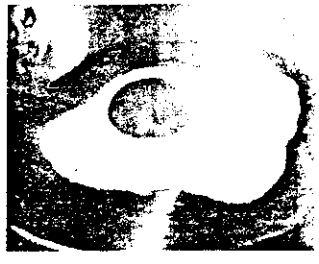
ไข่ทอด



U.S.Grade AA



U.S.Grade A



U.S.Grade B

รูปที่ 8.5 ลักษณะของไข่ขาวและไข่แดงของไข่เกรด AA ถึงเกรด C เมื่อต้มและทอด

ตารางที่ 8.9 มาตรฐานคุณภาพของไข่เกรดต่าง ๆ ของสหรัฐอเมริกา

ส่วนประกอบของไข่ที่ใช้พิจารณาคุณภาพ	ลักษณะของไข่เกรดต่าง ๆ			
	AA	A	B	C
เปลือก	สะอาด, ปราศจากรอยร้าว, รูปทรงปกติ	สะอาด, ปราศจากรอยร้าว, รูปทรงปกติ	สะอาด, อาจมีรอยเปื้อนเล็กน้อย, ไม่มีรอยร้าว, รูปทรงอาจผิดปกติเล็กน้อย	สะอาด, อาจมีรอยเปื้อนเล็กน้อย, ไม่มีรอยร้าว, รูปทรงอาจผิดปกติ
ช่องอากาศ	ลึก 1/8 นิ้ว หรือน้อยกว่า ไม่เคลื่อนไหว	ลึก 1/4 นิ้ว หรือน้อยกว่า ไม่เคลื่อนไหว	ลึก 3/8 นิ้ว หรือน้อยกว่า อาจจะเคลื่อนไหวได้ แต่ไม่เกิดฟอง	อาจลึกกว่า 3/8 นิ้ว, อาจเคลื่อนไหวได้หรือเกิดฟอง
ไข่ขาว	ข้น กระจาย เป็นวงแคบ เกาะกันแน่น	ข้น กระจายเป็นวงกว้างขึ้นเล็กน้อย เกาะกันแน่น	เหลวลงเล็กน้อย กระจายเป็นวงกว้างขึ้น	เหลว แตกเป็นวงกว้าง, อาจมีจุดเลือด, จุดเนื้อ
ไข่แดง	กลมและนูน, อยู่กึ่งกลางฟอง, เส้นของขอบเงามองเห็นไม่ชัดเจน, ไม่มีตำหนิ	กลมและนูน, อยู่กึ่งกลางฟอง, เส้นของขอบเงาพอจะเห็นได้, ไม่มีตำหนิ	ขยายใหญ่และแบนราบเล็กน้อย, ไม่อยู่กึ่งกลาง, เห็นเส้นขอบเงาชัดเจน อาจมีตำหนิบ้าง แต่ไม่มาก	ขยายใหญ่และแบนราบ, ไม่อยู่กึ่งกลาง เห็นเส้นขอบเงาชัดเจน, อาจมีจุดเลือดหรือจุดเนื้อ อาจเคลื่อนที่ได้และมีตัวอ่อน และอาจมีตำหนิ แต่ไม่ร้ายแรงนัก

8.11 การวัดคุณภาพของไข่

1. การวัดคุณภาพของไข่ขาว

การวัดคุณภาพของไข่ขาวที่ใช้มากที่สุดคือ การวัดเป็นฮอยูนิต (Haugh unit) ซึ่งเป็นวิธีที่คิดขึ้นโดย Raymond Haugh ในปี 1937 ฮอยูนิตเป็นวิธีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของไข่และความสูงของไข่ขาวข้น โดยวัดจากจุดกึ่งกลางระหว่างริมขอบไข่แดง และขอบไข่ขาวข้น โดยใช้ไมโครมิเตอร์ (micrometer) หรือเกจ (gauge) (รูปที่ 8.6)

ฮอยูนิตสามารถคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$H.U. = 100 \log_{|} H - \frac{G(30W^{.37} - 100)}{100} + 1.9 |$$

H = ความสูงของไข่ขาว หน่วยเป็นมิลลิเมตร

H.U. = ฮอยูนิต (Haugh units)

W = น้ำหนักของไข่หน่วยเป็นกรัม

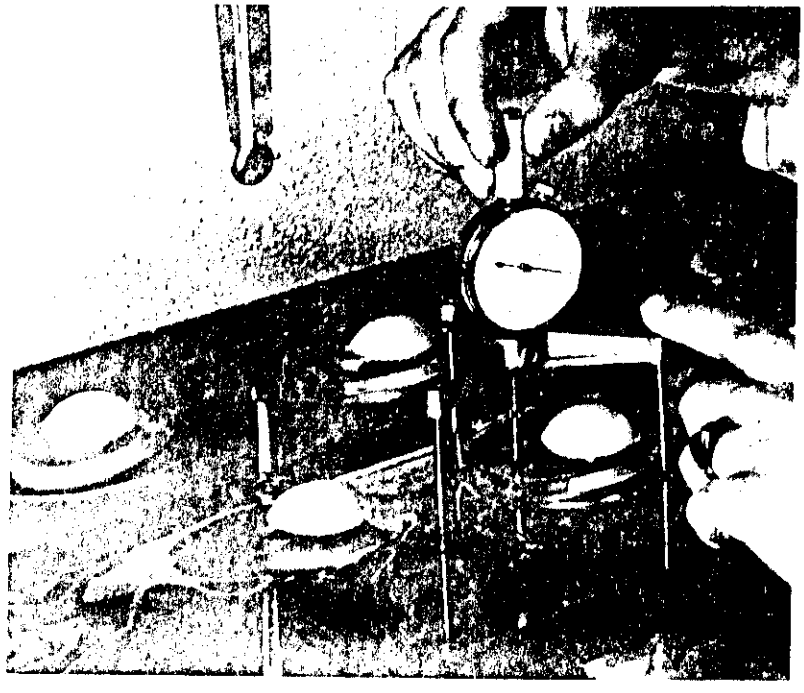
G = Gravitational constant = 32.2

$\frac{G(30W^{.37} - 100)}{100} + 1.9 = 0$ เมื่อน้ำหนักของไข่เท่ากับ 56.7 กรัม หรือ 2 ออนซ์

ค่าของฮอยูนิตยิ่งสูงมาก คุณภาพของไข่ขาวหรือคุณภาพของไข่ก็จะยิ่งดีมากขึ้น

ระดับคุณภาพของไข่	ฮอยูนิต
AA	> 95 – 80
A	79 – 56
B	55 – 32
C	31 – 0

การวัดคุณภาพของไข่ขาวอีกวิธีหนึ่ง คือ การวัดดัชนีไข่ขาว หรือแอลบูเมนอินเด็กซ์ (Albumen Index) ซึ่งคำนวณโดยการหารความสูงของไข่ขาวด้วยความกว้างเฉลี่ยของไข่ขาว ความกว้างเฉลี่ยของไข่ขาว วัดจากส่วนกว้างที่สุดและแคบที่สุดของไข่ขาวข้นที่ตอยลงบนพื้นเรียบที่ไม่มีขอบกั้น ไข่ใหม่จะมีดัชนีไข่ขาว 0.50-0.174



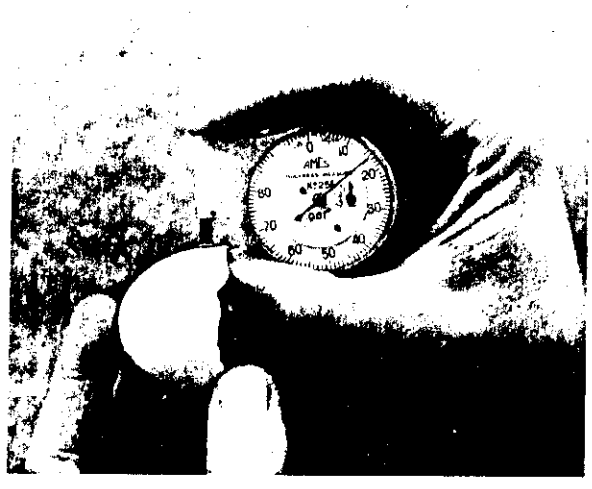
รูปที่ 8.6 ไมโครมิเตอร์สำหรับวัดความสูงของไข่ขาวข้นสำหรับคำนวณค่าฮอยูนิต

2. การวัดคุณภาพของไข่แดง

การวัดคุณภาพของไข่แดงจะวัดเป็นดัชนีไข่แดง (yolk index) ซึ่งเป็นการวัดรูปทรงกลมของไข่แดง และความแข็งแรงของเยื่อหุ้มไข่แดงโดยทางอ้อม ดัชนีไข่แดงสามารถคำนวณโดยการหารความสูงด้วยความกว้างเฉลี่ยของไข่แดง ไข่ใหม่มีค่าดัชนีไข่แดง ~ 0.3 - 0.5 ไข่ใหม่ที่มีดัชนีไข่แดงต่ำเป็นไข่ที่มีคุณภาพต่ำ

3. การวัดคุณภาพของเปลือกไข่

การวัดคุณภาพของเปลือกไข่ อาจใช้วิธีวัดความถ่วงจำเพาะ ถ้าไข่ลอยในสารละลายที่มีความถ่วงจำเพาะที่กำหนดให้ ก็ถือว่าไข่มีความถ่วงจำเพาะนั้น ไข่ทุกฟองที่วัดความถ่วงจำเพาะโดยวิธีนี้ จะต้องทำการทดลองและเก็บรักษาในลักษณะเดียวกันทุกฟอง มิฉะนั้นจะเปรียบเทียบกันไม่ได้ ถ้าเป็นไข่เก่าและน้ำหนักลดลง ความถ่วงจำเพาะของไข่ก็เปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน เพราะการสูญเสียน้ำในไข่



รูปที่ 8.7 paper thickness gauge สำหรับวัดความหนาของเปลือกไข่

การวัดความหนาของเปลือกไข่ทำได้ง่าย โดยใช้เครื่องมือวัดความหนาที่เรียกว่า paper thickness gauge ปกติจะวัดเปลือกไข่ 3 แห่ง เปลือกไข่ที่หนาน้อยกว่า 0.013 นิ้ว จะถือว่าบางเกินกว่าที่จะส่งออกจำหน่าย เพราะมีโอกาสแตกได้ง่าย รูปที่ 8.7 แสดงการวัดความหนาของเปลือกไข่ โดยใช้ paper thickness gauge

8.12 ตำหนิภายในไข่ที่มีผลต่อคุณภาพของไข่

จุดเลือด (Blood spot) เป็นตำหนิอย่างหนึ่งที่พบบ่อยที่สุดในไข่ อาจเกิดจากการที่รังไข่หรือท่อนำไข่ของแม่ไก่ฉีกขาด และหลุดติดมากับไข่ขาวและไข่แดง หรืออาจเกิดจากการที่เส้นเลือดฝอยภายในรังไข่ของแม่ไก่แตก มักเกิดภายใน 2-3 วันก่อนออกไข่ จุดเลือดนี้ถ้าเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือสีขาว เรียกว่า จุดเนื้อ (meat spot) อย่างไรก็ตาม จุดเลือดและจุดเนื้อมิได้ทำให้ไข่เสียหรือให้โทษแต่อย่างใด ไข่ยังใช้บริโภคได้

ตำหนิภายในไข่ที่ไม่พบบ่อยนักคือ การเกิดจุดสีในไข่แดง (yolk mottling) ซึ่งอาจเกิดจากการกระจายที่ไม่สม่ำเสมอของน้ำในไข่แดง หรือเกิดจากการแยกของเยื่อวิเตลลิน (vitellin membrane) และชั้นของไข่ขาวชั้นใน

8.13 การเปลี่ยนแปลงของไข่ในระหว่างการเก็บไข่

ไข่ที่ออกจากแม่ไก่ใหม่ ๆ ถือว่าเป็นไข่สด ถ้าปราศจากจุดเลือดและจุดเนื้อ ก็นับได้ว่ามีคุณภาพดีที่สุด แต่หลังจากนั้นคุณภาพของไข่ก็จะค่อย ๆ เสื่อมลง ซึ่งจะมากน้อยเพียงใดขึ้นกับวิธีการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงการเก็บรักษาไข่ มีดังนี้

1. การสูญเสียน้ำและก๊าซภายในไข่

การสูญเสียน้ำและก๊าซออกทางรูเปลือก เป็นเหตุให้ช่องอากาศขยายใหญ่ขึ้น น้ำส่วนใหญ่มาจากไข่ขาว ส่วนก๊าซ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์, แอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดจากการสลายตัวทางเคมีของสารอินทรีย์ในไข่ อัตราการระเหยของน้ำขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในสภาวะแวดล้อมที่ใช้เก็บไข่, ระยะเวลาของการเก็บ, ความหนาของเปลือก และขนาดของไข่ นอกจากนี้ การที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกไป จะทำให้ไข่ขาวมีความเป็นด่างมากขึ้น ก๊าซนี้เกิดจากขบวนการเมตาโบลิซึมของไข่ และส่วนใหญ่ละลายในไข่ขาวในรูปของกรดคาร์บอนิก (carbonic acid) และเกลือไบคาร์บอเนต (bicarbonates) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะระเหยออกไปจนกระทั่งปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศรอบ ๆ เท่ากับที่มีในไข่เดิม ไข่ขาวมี pH 7.9 หลังจากเก็บได้ 3 วัน ค่า pH จะเพิ่มขึ้นถึง 9.3 หลังจากนั้นจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ส่วนไข่แดงเดิมมี pH 6.2 ในระหว่างเก็บจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ การที่ pH เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ง่ายขึ้น

2. ไข่ขาวข้นกลายเป็นไข่ขาวใส

ระหว่างเก็บไข่ ไข่ขาวข้นจะกลายเป็นไข่ขาวใส เนื่องจากการย่อยของเอ็นไซม์ที่ย่อยโปรตีน (proteolytic enzymes) ทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล ความข้นของไข่ขาวจึงลดลง ปริมาณของไข่ขาวข้นจึงเป็นเครื่องบ่งคุณภาพหรือความใหม่ของไข่ไก่ได้ นอกจากนี้ ชาลาเซ่ซึ่งทำหน้าที่ยึดไข่แดงจะอ่อนลงด้วย การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้แบคทีเรียเจริญได้ง่ายขึ้น

3. การขยายตัวของไข่แดง

น้ำจากไข่ขาว นอกจากจะระเหยออกไปบางส่วนแล้ว ยังเคลื่อนเข้าไปในไข่แดงโดยแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) เพราะความเข้มข้นของไข่แดงมากกว่าไข่ขาว ทำให้ไข่แดงขยายตัวใหญ่ขึ้น ไข่แดงไม่อยู่ตรงกลางฟองมีความหนืดลดลง และเยื่อหุ้มไข่แดงขยายออกและขาดง่าย นี่เป็นเหตุผลที่ทำให้การแยกไข่แดงจากไข่ขาวในไข่เก่าทำได้ยาก ไข่แดง

มักแตกเสียก่อน บางทีไข่แดงเอียงไปติดเปลือกด้านใดด้านหนึ่ง เวลาต่อยไข่ ไข่แดงจะแตกด้วย การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วถ้าเก็บไข่ที่อุณหภูมิสูง

4. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของไข่

ไข่ใหม่มีกลิ่นรสดี ถ้าเก็บไข่ไว้ ไข่จะสามารถดูดกลิ่นจากสารอื่น ๆ ที่เก็บอยู่ในบริเวณเดียวกัน ทำให้ไข่มีกลิ่นรสเปลี่ยนไป นอกจากนี้ไข่ที่เก็บไว้นานหลายเดือนก็มีกลิ่นที่ไม่ดีเกิดขึ้นภายในไข่แดง ความแรงของกลิ่นจะมากในไข่ที่จุ่มในน้ำมันก่อนเก็บ แต่ถ้าเป็นไข่ที่มิได้จุ่มในน้ำมันหรือพ่นด้วยน้ำมัน รูเปลือกไข่ไม่ถูกปิดหมด กลิ่นที่ไม่ดีจะระเหยออกไปได้บ้าง ความแรงของกลิ่นจะลดน้อยลง

5. การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ไข่ที่วางอยู่ในที่สกปรก เชื้อจุลินทรีย์ย่อมเข้าไปในไข่ได้ทางรูเปลือกนี้ ความจริงไข่ขาวมีความต้านทานต่อเชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ แต่ถ้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านเข้ามามีจำนวนมาก ไข่ขาวไม่สามารถทำลายได้หมด ไข่ส่วนใหญ่ที่ผ่านการล้างจะทำให้นวลไข่หลุดออก เป็นเหตุให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าไปในไข่ได้สะดวกขึ้น เชื้อจุลินทรีย์ที่เข้าไปในไข่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ในไข่ ถ้าไข่มีจุดเลือด จุดเนื้ออยู่ เชื้อจุลินทรีย์จะใช้เป็นอาหารได้ดี ทำให้ไข่เสื่อมเสียเร็วขึ้น และเกิดสารที่มีกลิ่นต่าง ๆ

8.14 การเก็บรักษาไข่

ทันทีที่ไข่ออกจากตัวไก่ ไข่จะเริ่มเสื่อมคุณภาพลงทุกขณะจนเน่าเสียไปในที่สุด การเก็บรักษาไข่อย่างถูกวิธี จะช่วยให้สามารถเก็บไข่ให้คงคุณภาพเดิมไว้ได้นานที่สุด

การเก็บรักษาคุณภาพของไข่ ควรเริ่มต้นตั้งแต่การเก็บไข่จากฟาร์มไก่ ควรเก็บให้บ่อยครั้งโดยเก็บสามถึงสี่ครั้งต่อวัน เพื่อลดการแตกร้าวและความสกปรกของเปลือกไข่ ไข่ที่แตกหรือร้าวควรคัดออก ไข่ที่สกปรกขัดด้วยกระดาษทราย หรือทำความสะอาดด้วยน้ำผสมคลอรีนและปราศจากกลิ่น น้ำที่ล้างควรอุ่นกว่าอุณหภูมิของไข่ มิฉะนั้นน้ำอาจถูกดูดเข้าไปภายในไข่ มักนิยมล้างไข่โดยใช้วิธีฉีดน้ำที่ไข่ แทนที่จะจุ่มไข่ในน้ำ เพราะไข่ที่เย็นเมื่อจุ่มในน้ำร้อนทันทีอาจทำให้ไข่แตกได้ เป่าให้แห้งด้วยลมร้อน เก็บในห้องเย็นอย่างน้อย 13 องศาเซลเซียส (10°ซ จะดีกว่า) เป็นเวลา 12 ถึง 24 ชั่วโมง ก่อนบรรจุลงในกล่อง การบรรจุไข่ควรระวังมิให้เกิดการแตกร้าว และไม่ควรวางซ้อนกันมากชั้นเกินไป เพราะอาจทำให้ไข่ที่อยู่ชั้นล่าง

แตกได้ การบรรจุควรรองรับด้วยรำข้าวหรือขี้เลื่อย หรือใช้กล่องทำด้วยโฟมพลาสติก (plastic foam) เพื่อกันการกระแทก

การเก็บไข่ระหว่างรอจำหน่าย ควรเก็บในห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ไข่แข็งตัวที่อุณหภูมิ −1°ซ อุณหภูมิที่พอเหมาะในการเก็บควรสูงกว่าจุดเยือกแข็งของเข่เล็กน้อย คือประมาณ 0-2 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันมิให้ไข่เย็นจนแข็ง เพราะเปลือกไข่อาจร้าวหรือแตกก็ได้ นอกจากนี้ถ้าไข่แดงแข็งตัวจะไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิม การสูญเสียน้ำอาจป้องกันได้โดยปรับความชื้นของห้องเก็บให้สูง ควรเก็บในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80-90 ซึ่งจะป้องกันการระเหยของน้ำ และป้องกันการขยายตัวของช่องอากาศในไข่ ถ้าความชื้นสูงกว่าร้อยละ 90 ราจะเจริญได้ดี การป้องกันราในห้องเย็นต้องใช้สารกันรา (mycostat) โดยฉีดให้ทั่วพื้นและฝาห้องเย็นก่อนเอาไข่เก็บ และฉีดในกระดาษที่คั่นไข่ด้วยน้ำยาที่ป้องกันและยับยั้งการเจริญของรา ได้แก่ โซเดียมเพนตะคลอโรฟีนอล (sodium pentachlorophenol), โซเดียมเตตระคลอโรฟีนอล (sodium tetrachlorophenol) และโซเดียมไตรคลอโรฟีนอล (sodium trichlorophenol) ในปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 0.81-0.92 สามารถป้องกันราได้นานถึง 8 เดือน ในห้องเย็นอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 92-95

การยืดเวลาการเก็บไข่ยังอาจใช้วิธีอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว คือ

ก. เก็บในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเข้มข้นร้อยละ 0.55-2.5

ข. จุ่มไข่ในน้ำมันเบา (light mineral oil) ซึ่งไม่มีสีและไม่มีกลิ่น น้ำมันจะเคลือบผิวเปลือกไข่และปิดรูเปลือก ป้องกันการระเหยของน้ำ และการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์

ค. การใช้ความร้อนทำให้ไข่คงตัว (Thermostability) โดยจุ่มไข่ในน้ำหรือน้ำมันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ความร้อนจะทำให้เยื่อบาง ๆ ของไข่ขาวตกตะกอนและอุดรูเปลือกไข่ไว้ จะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำและก๊าซออกทางรูเปลือกไข่

8.15 การเก็บรักษาไข่ในบ้าน

การเก็บรักษาไข่ควรเริ่มจากการซื้อไข่จากท้องตลาด ควรเลือกไข่ที่สะอาดและใหม่ ถ้าเปลือกไข่สกปรกอาจมีเชื้อจุลินทรีย์แทรกซึมเข้าไปในไข่ ไข่จะเสียได้ เก็บไข่ไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 7 ถึง 13°ซ จนกว่าจะนำออกมาใช้ ไม่ควรเก็บไข่ในที่ที่มีกลิ่นเหม็น เพราะไข่จะดูดกลิ่นไม่ดีเข้าทางรูเปลือก ไม่ควรล้างไข่ก่อนถึงเวลาประกอบอาหาร เพราะการล้างไข่จะทำให้เมือกที่เคลือบเปลือกไข่หลุดออก ก๊าซและน้ำระเหยออกจากไข่ได้มากขึ้น และเชื้อ

จุลินทรีย์ก็เข้าไปในไข่แดงง่ายขึ้น จะทำให้ไข่เสียเร็ว ถ้าจำเป็นต้องล้าง ควรใช้น้ำมันพืชทาเปลือกไข่จะช่วยให้เก็บไข่ได้นานขึ้น ในการวางไข่ในช่องวางไข่ ควรวางด้านป้านซึ่งมีช่องอากาศขึ้น และให้ด้านแหลมลง เพราะถ้าเอาด้านป้านลง น้ำหนักไข่จะดันช่องอากาศให้ลอยขึ้นข้างบน ทำให้เยื่อหุ้มไข่ขาวทั้ง 2 ชั้นแยกออกจากกัน ไข่แดงซึ่งเบากว่าจะพยายามลอยตัวขึ้นข้างบนเช่นกัน ทำให้ไข่แดงติดเปลือกได้ง่าย

8.16 คุณสมบัติการใช้งานของไข่ (Functional properties of eggs)

ไข่นอกจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการแล้ว มันยังมีคุณสมบัติบางอย่างที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

1. ไข่เป็นสารที่ช่วยทำให้ฟู (leavening agents) ในการทำขนมเค้ก ขนมปัง และขนมอบอื่น ๆ มักมีไข่เป็นส่วนผสมอยู่ด้วย คุณสมบัติในการขึ้นฟูของขนมอบเกิดจากไข่ขาว เมื่อตีไข่ขาวให้แตกกระจาย ฟองอากาศจะถูกจับไว้ในไข่ขาวเหลวและเกิดฟองฟู่ขึ้น วิธีวัดคุณสมบัติการทำงานของไข่ขาววิธีหนึ่งคือ การทำเค้กแองเจล (angel cake) แล้ววัดปริมาตรเนื้อสัมผัส ความชื้นและคุณสมบัติอื่น ๆ ของเค้กนี้ เพื่อหาคุณสมบัติของไข่ขาว

2. ไข่เป็นสารที่ช่วยยึด (binding agent) ถ้าผสมไข่กับส่วนประกอบ (ingredients) อื่น ๆ แล้วต้ม ไข่ขาวจะถูกแปลงสภาพหรือจับเป็นก้อนและเกิดเป็นโครงข่าย (network) ช่วยยึดส่วนประกอบอื่น ๆ เข้าด้วยกัน

2. ไข่ใช้เป็นสารที่ทำให้ข้น (thickening agent) เช่น ในการทำคัสตาร์ด (custards), พุดดิง (pudding) และครีม ไข่จะรวมกับหมู น้ำตาล สารปรุงรสและส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งเมื่อต้มจะเกิดเจล (gel) คุณภาพของเจลนี้ส่วนใหญ่ขึ้นกับปริมาณและคุณภาพของไข่ขาวและยังขึ้นกับส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น น้ำตาลและสารที่ทำให้เจลเสถียร (stabilizers) อื่น ๆ

4. น้ำตาลไอซิ่ง (Icing) ที่เคลือบผิวเค้กและขนมหวาน (candies) มีเนื้อสัมผัสที่ลื่นชุ่มคอและหวาน เนื่องจากมีไข่ขาวผสมอยู่ด้วย ไข่ขาวทำให้น้ำตาลตกผลึกช้า ๆ และป้องกันมิให้มีเนื้อสาก ๆ

5. ไข่แดงประกอบด้วยเลซิธิน (lecithin) ซึ่งเป็นสารช่วยให้เกิดอิมัลชัน (emulsify agent) ที่ดี ไข่แดงจึงเป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำมายองเนส (mayonnaise) ช่วยทำให้น้ำมันแพร่กระจายแทรกเข้าไปในส่วนประกอบอื่น ๆ ได้ดี ไม่แยกชั้นออกมา

6. ไข่ยังใช้เป็นสารช่วยทำให้ใส (clarifying agent) เช่น ในการทำซุปให้ใส ทำได้

โดยใส่ไข่ขาวลงในน้ำซุป ตั้งไฟให้ร้อน ไข่ขาวจะแข็งตัวและจับหรือหุ้มเศษเล็กเศษน้อยที่อยู่ในซุปไว้ เมื่อช้อนไข่ขาวออก ซุปจะใสขึ้น นอกจากนี้เครื่องดื่มอื่น ๆ เช่น กาแฟ เหล้าองุ่น ก็ใช้ไข่ขาวทำให้น้ำใสขึ้นได้

7. ไข่ใช้เคลือบผิวเค้ก คุ้กกี้ ขนมปังและขนมอื่น ๆ ได้ดี ป้องกันมิให้ขนมอบแห้งและทำให้ขนมอบมีผิวแน่น

8. ไข่ช่วยเติมสีและคุณค่าแก่อาหาร ราคาของไข่แช่แข็งมักขึ้นกับสีของมัน ไข่แช่แข็งที่มีสีเข้มมากมักจะมีราคาสูง เพราะไข่แช่แข็งที่มีสีเข้ม เมื่อใส่ในขนมอบจะทำให้ขนมอบมีสีเหลืองน่ารับประทาน

8.17 ผลิตภัณฑ์ไข่

1. การทำไข่แช่แข็ง (Frozen eggs)

วิธีนี้ใช้กับไข่ที่มีเปลือกร้าว สกปรก ฟองเล็ก รูปทรงไข่ไม่ดี ไม่เหมาะที่จะขายทั้งฟองหรือมีไข่เหลือใช้มาก และอาจทำไข่แช่แข็งทั้งฟอง คือไข่ขาวปนกับไข่แดง หรือเฉพาะไข่ขาวหรือไข่แดง ไข่ขาวแช่แข็งทำได้โดยไม่ต้องเติมสารอื่น ส่วนไข่แดงควรเติมน้ำตาลซูโครสและเกลือ 10% ก่อนแช่แข็ง เกลือและน้ำตาลซูโครสช่วยป้องกันการเกิดเจล (gelation) ของไข่แดง ช่วยให้ไข่แดงละลายได้ดีโดยไม่จับเป็นก้อนหรือเป็นยางเหนียว ส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ กลีเซอรีน, น้ำเชื่อม, กัม (gums) และโซเดียมเมตาฟอสเฟต (sodium meta-phosphate)

วิธีทำไข่แช่แข็งสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยล้างไข่ให้สะอาดก่อนต่อยไข่ ควรต่อยไข่ในภาชนะเล็กก่อน 2-3 ฟอง เพื่อตรวจดูลักษณะสีและกลิ่นให้ละเอียดก่อนตีรวมกันในภาชนะใหญ่ ไข่แช่แข็งอาจมีเชื้อซาลโมเนลลาซึ่งอาจทำให้เกิดอาการอาเจียน คลื่นไส้ ท้องเสียอย่างรุนแรงได้ ในอุตสาหกรรมทำไข่แช่แข็ง ไข่จะต้องผ่านการพาสเจอไรส์ โดยให้ไข่ผ่านความร้อน 63°ซ เป็นเวลา 1 นาที ความร้อนขนาดนี้เพียงพอที่จะฆ่าเชื้อซาลโมเนลลา แต่ไม่ทำให้ไข่ขาวแข็งตัว จากนั้นจึงนำไข่ไปแช่แข็งโดยใช้อุณหภูมิ −29°ซ

ไข่แช่แข็งมีประโยชน์ใช้เป็นส่วนประกอบ (ingredients) สำหรับทำผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ได้เช่นเดียวกับไข่สด

2. การทำไข่ผง

วิธีนี้อาจใช้ไข่ทั้งฟองหรือเฉพาะไข่แดงหรือไข่ขาว ขั้นแรกตีไข่ให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วผ่านการพาสเจอไรส์เพื่อฆ่าเชื้อเช่นเดียวกับการทำไข่แช่แข็ง แล้วใช้แรงดันให้ไข่ผ่านรู

เล็ก ๆ แล้วพ่นเป็นฝอยเข้าสู่ห้องที่มีลมร้อนประมาณ 121 ถึง 149 องศาเซลเซียส ไข่จะแห้งเป็นผงทันทีและตกลงสู่พื้นล่าง ไข่ผงนี้มักจะผ่านการร่อนก่อนบรรจุแล้วเก็บไว้ในที่เย็น ไข่ผงใช้กันมากในอุตสาหกรรมทำขนมอบ ข้อดีของไข่ผงคือ ถ้าบรรจุอย่างดีไม่สัมผัสกับอากาศ จะสามารถเก็บได้นาน และนำออกใช้เมื่อต้องการ ไข่ผงดูดความชื้นได้ง่ายมาก จึงควรเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิดไม่ถูกกับอากาศและความชื้น

3. การทำไข่เค็ม

การทำไข่เค็มมี 2 แบบคือ แบบดองและแบบพอกดิน

การทำไข่เค็มแบบดอง ทำได้ง่าย ๆ โดยแช่ไข่เป็ดในน้ำเกลือ (1 ส่วนต่อน้ำ 3 ส่วน) ประมาณ 15-25 วัน เกลือจะซึมเข้าไปในไข่จากทางรูเปลือก ระหว่างดองควรหาของหนักทับไข่ให้จมลงในน้ำเกลือ

การทำไข่เค็มแบบพอกดิน ใช้ดินเหนียวผสมเกลือป่นและเถ้าแกลบ (เกลือ : ดินเหนียว : เถ้าแกลบ = 1 : 3 : 5) นวดให้เข้ากัน อาจผสมน้ำเล็กน้อยพอให้ปั้นได้ พอกบนไข่ที่สะอาดให้หนาประมาณครึ่งนิ้ว วางไข่ที่พอกแล้วในไหหรือภาชนะอื่นเก็บไว้ในที่เย็น เป็นเวลาประมาณ 3 สัปดาห์ก็ใช้ได้ ถ้าเก็บนานเกินไปไข่จะเค็มมากเกินไป เมื่อจะบริโภคไข่ก็ล้างและขัดเปลือกให้สะอาด แล้วนำไปต้ม

8.18 การเปลี่ยนแปลงของไข่เมื่อผ่านขบวนการแปรรูป

1. การแช่แข็ง

การแช่แข็งมิได้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของไข่ขาวเดิม หลังจากละลายน้ำแข็งแล้ว (thawing) ไข่ขาวแช่แข็งยังมีสภาพคล้ายไข่ขาวดิบ และสามารถนำไปประกอบอาหารเช่นเดียวกับไข่ขาวดิบ

ไข่แดงดิบที่ผ่านการแช่แข็ง เมื่อละลายน้ำแข็งแล้ว จะมีลักษณะข้นคล้ายแป้งเปียก บางครั้งข้นมากจนไม่สามารถผสมเข้ากับส่วนผสมอื่น ๆ ในการทำขนมอบ ลักษณะเช่นนี้เกิดเนื่องจากการเกิดเจล (gelation) ของไข่แดง ไข่แดงมีจุดเยือกแข็งประมาณ –1 องศาเซลเซียส ไข่แดงจะเริ่มเกิดเจลที่อุณหภูมิ –6 องศาเซลเซียส และจะเกิดเจลได้เร็วที่สุดที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส

การเกิดเจลเป็นผลจากการรวมตัวของไลโพโปรตีนของไข่แดง น้ำมีส่วนสำคัญต่อการเกิดเจลนี้ เมื่อน้ำแข็งตัว โปรตีนจะสูญเสียน้ำ และชั้นของน้ำ (water shell) ที่อยู่รอบ ๆ โมเลกุลของโปรตีนจะแตกสลาย ทำให้เกิดการจัดตัวใหม่และการรวมตัวของไลโพโปรตีนของไข่แดง การเกิดเจลเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ผันกลับ ทำให้ไข่แดงขาดคุณสมบัติการแพร่กระจาย จึงผสมกับส่วนประกอบอื่น ๆ ได้ยาก

การเติมเกลือ น้ำตาลซูโครส น้ำเชื่อมหรือน้ำผึ้ง จะช่วยป้องกันการเกิดเจลได้

การแช่แข็งเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการทำงานของไข่แดงเล็กน้อย มายองเนส (mayonnaise) ที่ทำจากไข่แดงแช่แข็งจะมีเนื้อหยาบ (stiff) และอยู่ตัวน้อยกว่าที่ทำจากไข่แดงดิบ การเติมเกลือจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเกิดอิมัลชัน (การแพร่กระจาย) ของไข่แดงที่ละลายน้ำแข็งแล้ว

เนื้อไข่ดิบทั้งฟองที่แช่แข็ง (frozen whole egg) จะเกิดเจลได้เช่นกัน แต่เกิดน้อยกว่าไข่แดงแช่แข็ง เนื้อไข่ดิบทั้งฟองที่ละลายน้ำแข็งแล้วจะมีลักษณะข้น จับเป็นก้อนและมีของเหลวสีส้มแยกตัวออกมา แต่คุณสมบัติส่วนใหญ่ของเนื้อไข่ดิบทั้งฟองแช่แข็งที่นำไปทำขนมอบจะไม่เปลี่ยนแปลง

2. การทำให้แห้ง

ไข่ที่ทำให้แห้งส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่สุก ขบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำให้ไข่แห้งจะพยายามรักษาไข่ให้อยู่ในสภาพดิบ เพื่อให้ไข่สามารถใช้ประโยชน์ได้ คุณสมบัติต่าง ๆ ของไข่ดิบคือ สามารถที่จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน, สามารถตีให้ขึ้นฟูได้, สามารถเกิดอีมัลชันได้, สีและกลิ่นรสไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อไข่ขาวถูกทำให้แห้ง คุณสมบัติของไข่ขาวจะเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนบางชนิดในไข่ขาว จากการศึกษาโปรตีนที่รับผิดชอบต่อคุณสมบัติของไข่ขาวที่ใช้ทำขนมอบ พบว่าโอโวโกลบูลินในไข่ขาวเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ไข่ขึ้นฟู ส่วนโอโวมิวซินช่วยทำให้โครงสร้างที่ขึ้นฟู (foaming structure) อยู่ตัว ส่วนโอวัลบูมินจะช่วยรักษาคุณภาพของขนมอบโดยมันจะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่อบ

การให้ความร้อนแก่ไข่ขาวที่อุณหภูมิสูงกว่า 57 องศาเซลเซียสจะทำให้ไข่ขาวสูญเสียคุณสมบัติในการขึ้นฟู การพาสเจอไรส์ไข่ขาวที่ pH 9 ซึ่งเป็น pH โดยธรรมชาติของไข่ขาวโดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 57 ซ และใช้วิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray – drying) ไข่ขาวยังคงคุณสมบัติที่จะตีให้ขึ้นฟูได้

ไข่ขาวที่ปนเปื้อนด้วยไข่แดงขณะต่อยไข่ จะสูญเสียคุณสมบัติการขึ้นฟูเมื่อทำให้แห้ง

ไขมันบางส่วนจากไข่แดงที่มาปนเปื้อนอาจเปลี่ยนจากสภาพที่เป็นอิมัลชันไปเป็นสภาพที่เป็นอิสระในขณะที่ทำให้แห้ง ไขมันอิสระเหล่านี้สามารถกระจายและหุ้มอนุภาคที่แห้งของไข่ขาว ทำให้คุณสมบัติการขึ้นฟูของไข่ขาวลดลง

กลูโคสที่อยู่ในไข่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างอบแห้งและระหว่างเก็บ ในไข่ขาวปฏิกิริยาระหว่างหมู่แอลดิไฮด์ (aldehyde group) ของกลูโคส และหมู่เอมีนของโปรตีนทำให้เกิดสีน้ำตาลและเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence) ได้ และละลายได้น้อยลงด้วย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ป้องกันได้โดยการกำจัดกลูโคสออกไปจากไข่โดยการหมัก (fermentation) การหมักทำได้โดยใช้แบคทีเรีย เช่น แอโรแบคเตอร์ แอโรจีเนส (Aerobacter aerogenes) หรือใช้เอ็นไซม์ กลูโคส ออกซิเดส (glucose oxidase)

ก่อนที่จะนำไข่ขาวไปอบแห้งจะต้องกำจัดกลูโคสก่อน และเติมกรดเพื่อปรับ pH การหมักไข่ขาวก่อนจะเพิ่มคุณสมบัติการขึ้นฟูของไข่ขาว ซึ่งเกิดจากผลของกรดและเอ็นไซม์ที่เกิดในระหว่างการหมัก

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับไข่แดงซับซ้อนกว่าที่เกิดกับไข่ขาว การเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับไข่แดงและไข่ทั้งฟองที่อบแห้ง คือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากกลูโคสทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนในโปรตีน และเซฟาลิน (cephalin) ด้วย ปฏิกิริยาระหว่างกลูโคสและเซฟาลินทำให้เกิดกลิ่นไม่ดีระหว่างที่เก็บผลิตภัณฑ์ไข่ผง ปฏิกิริยาเหล่านี้ป้องกันได้โดยการกำจัดกลูโคสและยังยับยั้งได้โดยการเติมคาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาลซูโครส น้ำเชื่อม (corn syrup) เป็นต้น

การเติมคาร์โบไฮเดรตยังช่วยรักษาคุณสมบัติการขึ้นฟูของไข่แดงและไข่ทั้งฟองที่อบแห้ง คาร์โบไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโปรตีนและฟอสฟอลิปิดของไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำของไข่แดง ไลโพโปรตีนมีโครงสร้างแบบไมเซลล์ (micellar structure) ซึ่งจะถูกทำลายเมื่อน้ำถูกกำจัดออกจากไมเซลล์ในขณะอบแห้ง คาร์โบไฮเดรตซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) อยู่สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนและฟอสฟอลิปิดโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) เช่นเดียวกับปฏิกิริยาของน้ำ จึงช่วยรักษาโครงสร้างแบบไมเซลล์ของไลโพโปรตีนในไข่แดง ซึ่งจะช่วยรักษาคุณสมบัติการขึ้นฟูของไข่แดงไว้ได้ แต่การเติมคาร์โบไฮเดรตจะมีผลน้อยในการรักษาคุณสมบัติการขึ้นฟูของไข่ขาวระหว่างอบแห้ง

8.19 การเปลี่ยนแปลงของไข่เมื่อใช้ประกอบอาหาร

ไข่ใช้ประกอบอาหารได้โดยตรง เช่น ทำไข่ดาว ไข่เจียว ไข่ต้ม ไข่พะโล้ เป็นต้น

นอกจากนี้ไข่ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาหารหลายอย่าง เช่น ขนมเค้ก ขนมปัง สังขยา ขนมปุยฝ้าย น้ำสลัด เป็นต้น

ขบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำอาหารจำพวกไข่ ได้แก่ การให้ความร้อนโดยการต้ม การทอด การลวก และการตีไข่เพื่อทำขนมอบต่าง ๆ เป็นต้น ขบวนการเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไข่

1. การเปลี่ยนแปลงของไข่เนื่องจากความร้อน

เมื่อไข่ได้รับความร้อน โปรตีนของไข่ขาว (ยกเว้นโอโวมิวคอยด์) จะแข็งตัว โอวัลบูมิน ซึ่งเป็นโปรตีนสำคัญของไข่ขาวจะถูกแปลงสภาพง่ายที่สุด การเปลี่ยนแปลงจากไข่ขาวใสไปเป็นไข่ขาวขุ่นเมื่อต้มไข่ อาจเกิดจากการทำลายผลึกไฮเดรต (crystalline hydrate) ของน้ำซึ่งล้อมรอบโซ่ข้างเคียงที่ไม่โพลา (nonpolar side chains) ของโมเลกุลของโปรตีน ทำให้โปรตีนจับกันเป็นก้อนโดยพันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic bonds)

ไข่ขาวจะเริ่มแข็งตัวที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ไข่ขาวจะแข็งตัวจนไหลไม่ได้ ถ้าให้ความร้อนต่อไปไข่ขาวจะแข็งตัวมากขึ้นและจะหดตัวด้วย

ไข่แดงจะแข็งตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าไข่ขาว ไข่แดงเริ่มแข็งตัวที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส ไข่แดงจะไม่ไหลอีก ไข่แดงไม่เปลี่ยนสีเมื่อแข็งตัวจึงสังเกตเห็นได้ยาก ไข่แดงที่ต้มสุกจนแข็งจะมีลักษณะร่วนซุยและไม่แข็งเท่าไข่ขาว ความร้อนทำให้โปรตีนส่วนใหญ่ของไข่แดงแข็งตัว ยกเว้นฟอสวิติน

อัตราการแข็งตัวของไข่ขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิสูง ไข่จะแข็งตัวเร็วมาก ดังแสดงในตารางที่ 8.10

ตารางที่ 8.10 อุณหภูมิและระยะเวลาที่ทำให้โปรตีนของไข่แข็งตัว

อุณหภูมิ	เวลาที่ต้องการเพื่อให้ไข่เริ่มแข็งตัว (วินาที)
57.04	22,600
58.01	9,500
59.03	1,535
60.03	595
61.02	230
62.01	97
63.01	40

การทำให้โปรตีนเจือจาง เช่น การเติมน้ำลงในไข่เวลาทำไข่ตุ๋นจะทำให้โปรตีนแข็งตัวช้าลง และต้องเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้โปรตีนแข็งตัว เช่น การเติมนม 1 ถ้วยลงในไข่ 1 ฟอง จะทำให้ไข่แข็งตัวที่อุณหภูมิสูงถึง 80 องศาเซลเซียส

2. การเติมเกลือ น้ำตาลและกรดในไข่

การเติมเกลือในไข่ทำให้โปรตีนแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำลง เช่น การทำคาสตาร์ด (custard) มักเติมเกลือเพื่อช่วยให้โปรตีนแข็งตัวเร็วขึ้น การเติมน้ำตาลลงในไข่เวลาทำอาหารจะทำให้โปรตีนแข็งตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉพาะเมื่อ pH ของไข่ขาวสูงกว่า 8.5 อย่างไรก็ตาม น้ำตาลทำให้ไข่ขาวแข็งตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้นไม่ว่าจะมีกรดอยู่หรือไม่ เช่น การทดลองเติมน้ำตาล 90 กรัมลงในไข่ขาว 100 กรัม พบว่าไข่ขาวจะเริ่มแข็งตัวที่อุณหภูมิ 85.5 องศาเซลเซียส ส่วนกรดจะทำให้โปรตีนแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำลง เช่น เมื่อ pH ลดลงถึง 3.8 โปรตีนจะแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส

3. การเกิดเฟอร์รัสซัลไฟด์ในไข่ต้ม

ถ้าต้มไข่ในน้ำร้อนเป็นเวลานาน 15 นาทีหรือนานกว่านี้ จะเกิดวงแหวนสีเขียวรอบ ๆ ไข่แดง ถ้าแช่ไข่ในน้ำทันทีหลังต้มจะไม่เกิดสีเขียวหรือเกิดสีเขียวน้อยกว่ากรณีที่ทิ้งไข่ไว้ในน้ำร้อน

ไข่แดงประกอบด้วยเหล็กมากกว่าไข่ขาวถึง 85 เท่า ในไข่ขาวมีปริมาณซัลเฟอร์สูงกว่าไข่แดงเล็กน้อย ไข่ขาวมีซัลเฟอร์ 0.214% ส่วนไข่แดงมีซัลเฟอร์ 0.208% ซัลเฟอร์ในไข่ขาวและไข่แดงส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของซิสทีนและเมไธโอนิน

วงแหวนสีเขียวที่เกิดบนผิวของไข่แดงเป็นสีของ FeS ไข่ขาวเมื่อถูกต้มเป็นเวลานาน ซัลเฟอร์ในไข่ขาวซึ่งระเหยได้ง่ายกว่าซัลเฟอร์ในไข่แดงจะให้ก๊าซ H_2S ออกมา เมื่อ H_2S รวมกับเหล็กของไข่แดงจะเกิดเป็น FeS ซึ่งมีสีเขียว

จากกฎของก๊าซ (Gas rule) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความดันจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อต้มไข่ ไข่ขาวที่ติดกับเปลือกจะมีอุณหภูมิสูงกว่าไข่ขาวที่ติดกับไข่แดง ปกติ H_2S จะระเหยออกไปทางเปลือก แต่เมื่ออุณหภูมิของไข่ขาวที่ติดกับไข่แดงมีความดันต่ำกว่า (เนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำกว่า) H_2S จึงแพร่ (diffuse) จากไข่ขาวเข้าสู่ไข่แดง แต่ถ้าแช่ไข่ในน้ำเย็นทันทีหลังต้ม อุณหภูมิของไข่ขาวที่ใกล้เปลือกจะลดลง H_2S จะแพร่ออกสู่ผิว แต่ถ้าทิ้งไข่ไว้ในน้ำร้อนหรือปล่อยให้ค่อย ๆ เย็นลงในอากาศ ก๊าซ H_2S จะไม่แพร่ออกไปทางเปลือกอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิด FeS รอบไข่แดง

ถ้าต้มไข่ 15 นาทีในน้ำร้อนและทำให้เย็นช้า ๆ จะเกิดสีเขียวที่ผิวของไข่แดง ถ้าทำให้เย็นโดยเร็ว วงแหวนสีเขียวอาจเกิดน้อยหรืออาจจะไม่เกิด แต่ถ้าต้มนาน 30 นาทีจะเกิดวงสีเขียวมาก และไม่ว่าจะทำให้เย็นลงเร็วแค่ไหน ก็ไม่สามารถทำให้วงสีเขียวบนไข่แดงจางหายไป ทั้งนี้เพราะว่า ในไข่แดงมีทั้งเหล็กและซัลเฟอร์ในปริมาณมากพอควร สามารถทำให้เกิด FeS ได้ แต่การที่ไข่แดงไม่กลายเป็นสีเขียวทั้งหมดเมื่อต้มนาน 7 ชั่วโมง ก็เพราะสารประกอบซัลเฟอร์ในไข่แดงแตกสลายเป็น H_2S ได้ยาก ดังนั้น ไม่ว่าจะต้มนานสักเท่าใด ก็ไม่ทำให้ไข่แดงกลายเป็นสีเขียวทั้งหมด

4. การตีไข่ให้ขึ้นฟู

การตีไข่ให้ขึ้นฟูเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้วัฏภาคก๊าซแพร่กระจายเข้าไปในวัฏภาคของเหลว เมื่อตีไข่ ฟองอากาศจะถูกจับไว้ในของเหลวของไข่ขาวและเกิดฟองฟูขึ้น ขนมบางอย่างไม่ต้องใช้ผงฟู อากาศที่ตีเข้าไปในไข่ทำให้ขนมฟูขึ้นได้เพียงพอ ไข่ขาวตีให้ฟูได้มากกว่าไข่แดงหลายเท่า ไข่ขาวใสตีได้ปริมาตรมากกว่าไข่ขาวข้น การที่ไข่ขาวตีให้ขึ้นฟูได้เนื่องจากในของเหลวของไข่ขาวประกอบด้วยโปรตีนโอโวโกลบูลิน โอโวมิวซินและคอนอัลบูมิน ไข่ขาวของไข่เป็ดมีโอโวโกลบูลินน้อยกว่าไข่ไก่จึงตีให้ขึ้นฟูได้น้อยกว่าไข่ไก่ ไข่เป็ดและไข่ไก่ที่แยกเอาโอโวโกลบูลินออกจะตีให้ขึ้นฟูได้น้อย

การตีไข่เป็นการแปลงสภาพของโปรตีน การที่ไข่ขึ้นฟูได้เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนคลายเกลียวออก ทำให้โปรตีนบางส่วนของไข่ขาวละลายน้ำได้น้อยลงหรือแข็งตัว ฟองอากาศที่ตีเข้าไปจะถูกโปรตีนหุ้มไว้รอบ ๆ ทำให้อยู่ตัว ขณะที่ตีไข่ขาว ขนาดของฟองอากาศจะเล็กลงและเพิ่มจำนวนมากขึ้น

โอโวมิวซินเป็นองค์ประกอบของไข่ขาวที่เกิดฟิล์มหุ้มรอบฟองอากาศทำให้ฟองอยู่ตัว การตีไข่นานเกินไปอากาศจะเข้าไปมาก โปรตีนจะถูกยืดออกมามากเกินไป บางส่วนอาจจะขาดได้ ทำให้ฟองอากาศสูญเสียความยืดหยุ่น (elasticity) ถ้าเทของเหลวออกจากไข่ขาวที่ตีจนฟูของเหลวนั้นจะมีโอโวมิวซินอยู่น้อย และมีคอนอัลบูมิน, ไลโซไซม์ และโอโวโกลบูลินอยู่

โอโวโกลบูลินช่วยทำให้ไข่ขาวมีความหนืดและลดแนวโน้มของของเหลวที่จะแยกตัวจากฟองอากาศ โอโวโกลบูลินยังช่วยลดแรงตึงผิวซึ่งจะช่วยในการเกิดฟองอากาศในขั้นแรก การลดแรงตึงผิวจะทำให้เกิดฟองที่มีขนาดเล็ก และทำให้ขนมมีเนื้อสัมผัสที่ลื่นคอ (smooth texture)

ไข่ขาวที่แยกเอาโอโวโกลบูลินและโอโวมิวซินออกไปจะต้องใช้เวลาตีให้ขึ้นฟูนาน และเมื่อใช้ทำเค้ก จะได้เค้กที่มีปริมาตรลดลง การเติมเฉพาะโอโวโกลบูลินเพียงอย่างเดียวกลับเข้าไปในไข่ขาว เค้กที่ทำจากไข่ขาวนี้จะมีปริมาตรมากขึ้น แต่ต้องใช้เวลาตีไข่ให้ขึ้นฟูนาน แต่ถ้าเติมเฉพาะโอโวมิวซินเพียงอย่างเดียวแทน เวลาที่ใช้สำหรับตีไข่ขาวให้ขึ้นฟูจะลดลง แต่ปริมาตรของเค้กที่ทำจากไข่ขาวนี้จะมีปริมาตรต่ำ ถ้าเติมทั้งโอโวโกลบูลินและโอโวมิวซินกลับเข้าไปในไข่ขาว จะทำให้คุณสมบัติการขึ้นฟูและคุณสมบัติอื่น ๆ ของไข่ขาวกลับคืนสู่ปกติ

ไลโซไซม์ก็มีผลต่อการขึ้นฟูของไข่ขาว ไข่ขาวที่มีไลโซไซม์สูงจะขึ้นฟูได้น้อยกว่าไข่ที่มีไลโซไซม์ต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไข่ที่มีไลโซไซม์สูงมีอัตราส่วนของไข่ขาวข้นต่อไข่ขาวใสสูงกว่า

การตีไข่ให้ขึ้นฟูได้ดียังขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง อย่างแรกคือวิธีการตีไข่ การตีไข่ด้วยมือและเครื่องตีไข่ไฟฟ้าจะให้ประสิทธิภาพที่ต่างกัน ไม่ว่าจะใช้วิธีใด ไข่ขาวที่ขึ้นฟูพอเพียงจะให้ขนมที่มีคุณภาพดี เครื่องตีไข่ไฟฟ้าจะช่วยให้ตีไข่ได้ฟูเร็วขึ้น แต่ต้องระวังถ้าตีมากเกินไปจะทำให้เส้นใยโปรตีนขาดได้ ถ้าเส้นใยโปรตีนขาด ฟองอากาศจะยุบ ขนมจะไม่ขึ้นฟู ไข่ขาวที่มีอุณหภูมิปกติจะตีให้ขึ้นฟูได้มากกว่าไข่ขาวที่เก็บในตู้เย็น ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยลดแรงตึงผิวทำให้ไข่ขาวขึ้นฟูได้ง่ายและได้ปริมาตรมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียสจนถึง 34 องศาเซลเซียส จะมีผลน้อยต่อการขึ้นฟูของไข่ขาว การให้ความร้อนแก่ไข่ขาวเป็นช่วงเวลาสั้นที่อุณหภูมิสูงถึง 58

องศาเซลเซียส ไข่ขาวก็ยังขึ้นฟูได้ดีและได้ขนมเค้กที่มีคุณภาพดี แต่อุณหภูมิที่สูงกว่า 58 องศาเซลเซียสจะมีผลต่อการขึ้นฟูของไข่ขาว

การทนต่อความร้อนของโปรตีนบางตัวในไข่ขาวขึ้นกับ pH ถ้าปรับ pH ของไข่ขาวไปที่ 7 ก่อนที่จะพาสเจอไรส์ โอวัลบูมิน ไลโซไซม์และโอโวมิวคอยด์จะไม่ถูกทำลายโดยความร้อน คอนอัลบูมินจะอยู่ตัวโดยการเติมอะลูมินัม (aluminum) ไข่ขาวนี้ใช้ทำ angel cake ที่มีปริมาตรและเนื้อสัมผัสดีมาก แม้ว่าจะต้องใช้เวลาในการตีไข่นาน

คุณสมบัติการขึ้นฟูของไข่เป็ดอาจแก้ไขได้โดยการเติมน้ำมะนาว (กรดซิตริก) กรดจะมีอิทธิพลต่อโอโวมิวซิน โดยจะลดเวลาที่ใช้ในการตีไข่ให้ขึ้นฟู ไข่ขาวนี้ใช้ทำ angel cake ได้ดีเท่า ๆ กับไข่ขาวของไข่ไก่ กรดและเกลือของกรดช่วยทำให้ฟองอากาศอยู่ตัว ครีมของทาร์ทาร์ (cream of tartar or potassium acid tartrate) จะให้ผลดีกว่ากรดน้ำส้มและกรดซิตริกที่ pH 6.0 แต่ที่ pH 8.0 กรดทั้ง 3 ตัวให้ผลดีพอกัน การเพิ่มความคงตัวของฟองอากาศทำให้ความร้อนแทรกซึมเข้าสู่ขนมเค้กได้ดี และแข็งตัวโดยที่ฟองอากาศไม่ยุบ ทำให้เค้กไม่หดตัวระหว่างช่วงสุดท้ายที่อบ ดังนั้น เมื่อเริ่มตีไข่ขาวใหม่ ๆ ก่อนไข่จะฟูมักนิยมเติมน้ำมะนาว (กรดซิตริก), กรดน้ำส้มหรือครีมของทาร์ทาร์ลงไป

ในการทำขนม การเติมเกลือนอกจากจะช่วยให้รสชาติดีขึ้นแล้วมันยังทำให้ฟองอากาศอยู่ตัว แม้จะใช้เวลาในการตีไข่นาน ฟองอากาศจะนุ่มและมีปริมาตรน้อย Sponge cake ที่ทำจากไข่ที่เติมเกลือจะเล็กและเหนียว

การเติมน้ำตาลในไข่ขาวจะทำให้ไข่ขาวขึ้นฟูช้ามาก การเติมน้ำตาลร้อยละ 50 จะต้องใช้เวลาตีไข่ถึง 9 นาที เพื่อที่จะทำให้ของเหลวทั้งหมดเปลี่ยนเป็นฟองอากาศ ในขณะที่ไม่เติมน้ำตาลจะใช้เวลาตีไข่เพียง 3 ถึง 4 นาที นอกจากนี้จะให้ได้ฟองที่แข็งพอต้องใช้เวลาตีไข่ขาวถึง 32 นาทีสำหรับไข่ขาวที่เติมน้ำตาลร้อยละ 50 แต่ถ้าไม่เติมน้ำตาลเลยจะใช้เวลาเพียง 16 นาที นอกจากนี้ในขณะที่ตีไข่ ฟองอากาศจะขยายตัวช้า เหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะน้ำตาลขัดขวางการแปลงสภาพของโปรตีน แต่น้ำตาลช่วยป้องกันการแปลงสภาพของโปรตีนโดยความร้อน ทำให้โปรตีนยืดหยุ่นได้มากกว่าเมื่อตีไข่ จึงนิยมเติมน้ำตาลในไข่ขาวก่อนหน้าที่จะให้ความร้อน น้ำตาลที่นิยมใช้คือ ซูโครส แลกโตส เดสโตส หรือมอลโตส โดยเฉพาะน้ำตาล 3 ตัวหลังนิยมใช้กันมาก

การเติมน้ำลงในไข่ขาวจะเพิ่มปริมาตรของฟองอากาศ การเติมน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อไข่ขาว 10 กรัม ไม่เพียงแต่เพิ่มปริมาตรของฟองอากาศ ยังช่วยให้ขนมนุ่มขึ้น แต่ถ้าเติมน้ำ

มากกว่าร้อยละ 40 ของเหลวของไข่ขาวจะแยกตัวจากฟองอากาศเมื่อตั้งทิ้งไว้

ถ้ามีไข่แดงปนอยู่กับไข่ขาวเพียงเล็กน้อย จะขัดขวางการขึ้นฟูของไข่ขาว ทำให้ใช้เวลาตีนานและได้ปริมาตรน้อย น้ำมันพืชหรืออาหารที่มีไขมัน เช่น นมและครีมก็ให้ผลอย่างเดียวกัน

8.20 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของไข่ที่ผ่านขบวนการแปรรูป การหุงต้ม และระหว่างเก็บ

ไข่แช่แข็งและไข่ผงจะยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ไม่แตกต่างจากไข่ดิบ การแช่แข็งและการทำให้แห้งทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไข่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก ไข่แช่แข็งและไข่ผงที่เก็บอย่างดีจะสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อย

การหุงต้มทำให้ไข่สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยมากเช่นกัน โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินที่ละลายในไขมันเกือบทั้งหมดจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย วิตามินที่สูญเสียไปบ้างคือ วิตามินที่ละลายน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 8.11

ตารางที่ 8.11 ปริมาณของวิตามินบีหนึ่ง และวิตามินบีสอง ที่ยังเหลืออยู่ในไข่หลังจากการหุงต้มด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีหุงต้ม	ปริมาณของวิตามินบีหนึ่ง (ร้อยละ)	ปริมาณของวิตามินบีสอง (ร้อยละ)
ไข่ต้มสุกที่100°ซ, 10 นาที	87	
ไข่ต้มสุกที่ 90°ซ, 30 นาที		99
ไข่ดาว	87	84
ไข่ลวก (poach egg)	82	87
ไข่คน (scrambled egg)	86	90

ไข่ที่เก็บในที่เย็นเป็นเวลานาน สารบางชนิดอาจมีปริมาณลดลง ในการทดลองเปรียบเทียบไข่สดและไข่ที่เก็บที่ 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 87 วัน ปรากฏว่าปริมาณโปรตีนทั้งหมดยังคงที่ แต่ปริมาณของธรีโอนีน (threonine) ลดลง ไข่จะสูญเสียวิตามินเอประมาณร้อยละ 10 เมื่อเก็บไว้ 12 เดือน ที่ 0 องศาเซลเซียส การสูญเสียจะเกิดมากในช่วงระหว่างเดือนที่สี่และ

เดือนที่แปด การเปรียบเทียบไข่สดและไข่ที่เก็บที่ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 และ 12 เดือน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของลิปิดหรือปริมาณของกรดไขมันในลิปิดระหว่างเก็บ

สำหรับไข่ที่ไม่ได้ทาน้ำมันที่เปลือกและไข่ที่เก็บในช่วงเวลาและอุณหภูมิที่กำหนดให้ พบว่า คุณภาพ กลิ่นรส ส่วนประกอบและคุณสมบัติต่าง ๆ ของไข่จะเสื่อมเสียเร็วกว่า และมากกว่าการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ