



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง

Development of Frozen Fried Egg Process

นามผู้วิจัย นางสาววิภาศรี สุวรรณผล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รุ่งศาสตร์จารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( รุ่งศาสตร์จารย์วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณิ จิระภาคย์กุล, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รุ่งศาสตร์จารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สืบสินธุ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง

Development of Frozen Fried Egg Process

โดย

นางสาววิภาศิริ สุวรรณผล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิภาศรี สุวรรณผล 2557: การพัฒนากระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:  
รองศาสตราจารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D. 121 หน้า

การแช่เยือกแข็งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่ดาวโดยเฉพาะส่วนไข่ขาว ซึ่งจะมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวคล้ายยางเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา และมีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่บนผิวหน้า ดังนั้นไข่ดาวแช่เยือกแข็งจึงยังไม่เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคเมื่อเปรียบเทียบกับไข่ดาวที่ทอดสดใหม่ เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกวิธีการทอดไข่แบบน้ำมันท่วมโดยศึกษาการทอดที่อุณหภูมิน้ำมันสองระดับคือ 80 และ 95 °ซ และเวลาทอดนาน 5, 7.5 และ 10 นาที พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทอดไข่ดาว คือที่อุณหภูมิ 80 °ซ เป็นเวลา 7.5 นาที จึงนำไข่ขาวที่กรองผ่าน ผ้าขาวบางปริมาณ 35 กรัม มาทอดเป็นไข่ดาว จากสมบัติของแซนแทนกัม (Xa) และโซเดียมแอลจีเนต (AI) ที่สามารถจับกับน้ำได้ดี จึงศึกษาการเติมผสมในไข่ขาวก่อนนำไปทอดโดยใช้แซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1 และ 0.2 โดยน้ำหนัก และโซเดียมแอลจีเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.4 และ 0.6 โดยน้ำหนัก จัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล (3x5 factorial in RCBD) พบว่า ไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่เติมแซนแทนกัมร่วมกับโซเดียมแอลจีเนตที่ความเข้มข้นต่ำเพียง ร้อยละ 0.1 + 0.2 โดยน้ำหนัก เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อย่างไรก็ตามเมื่อนำไข่ดาวแช่เยือกแข็งมาให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟ 600 วัตต์ นาน 1 นาที แล้วประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน พบว่าผู้ทดสอบยังไม่ชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเนื้อสัมผัสและชุ่มน้ำ ดังนั้นจึงปรับปรุงเนื้อสัมผัสโดยให้ความร้อนไข่ขาวในอ่างน้ำร้อนก่อนเติมไฮโดรคอลลอยด์และศึกษาการเติมแคลเซียมคลอไรด์ (ร้อยละ 0.02 หรือ 0.04 โดยน้ำหนัก) ผลการทดลองพบว่าการให้ความร้อนไข่ขาวที่ 45 °ซ ร่วมกับการเติม Xa ร้อยละ 0.1 + AI ร้อยละ 0.2 + CaCl<sub>2</sub> ร้อยละ 0.04 ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงจากการแช่เยือกแข็งที่พบในไข่ขาวทอด และสามารถลดเนื้อสัมผัสและชุ่มน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบด้านความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่นและการยอมรับจากผู้ทดสอบเพิ่มขึ้น และในการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์สองแบบคือการแช่เยือกแข็งแบบช้า (- 25 °ซ) และการใช้เครื่องไครโอเจนิค (- 40 °ซ) เก็บรักษานาน 60 วัน ที่ -20 °ซ พบว่า หลังจากเก็บผลิตภัณฑ์นาน 10 วัน ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้าเกิดการยุบตัวของเจลโปรตีนไข่ขาวอย่างชัดเจน ขณะที่แบบไครโอเจนิคมีการยุบตัวของโครงสร้างเจลไข่ขาวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้สังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นของขนาดของผลึกน้ำแข็ง การลดลงของความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนไข่ขาวหลังการทำละลายน้ำแข็ง รวมทั้งผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวเพิ่มมากขึ้น ตามระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่ใช้เครื่อง แบบไครโอเจนิคมีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า ดังนั้นในการทอดไข่ดาวให้เทไข่ขาวที่ปรับสภาพดังผลที่กล่าวข้างต้น ทอดในพิมพ์วงกลมก่อนหยอดไข่แดงตามลงไปทันทีและทอดในน้ำมันท่วมอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 7.5 นาที

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Wipasri Suwanaphol 2014: Development of Frozen Fried Egg Process. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Sanguan Sri Charoenrein, Ph.D. 121 pages.

Freezing induces the quality changes in fried eggs, where fried egg white become tough or rubbery in texture with large voids caused by ice crystals on the surface which increasing during storage. Thus frozen fried egg is not preferable by most consumers when compared to a freshly fried egg. In order to develop the frozen fried egg process, the temperature (80, 95 °C) and time (5, 7.5, 10 min) used for deep fat frying of egg were studied. It was found that the optimum condition was 80°C, 7.5 min. Thus fried egg sample was prepared from 35 g cheese cloth filtered egg white. Since xanthan gum (Xa) and sodium alginate (Al) show good water holding ability therefore Xa at 0, 0.1, 0.2 % (w/w) and Al at 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6% (w/w) were added in egg white before frying where 3x5 factorial in RCBD were conducted in the experiment. It was found that frozen fried egg white with the addition of low concentration of Xa+Al (0.1+0.2) showed lower amount of large ice crystals formation than other treatments. However, frozen fried egg white that were reheated by microwave with 600 W for 1 min and subjected to sensory evaluation (9 point hedonic scale) using 30 panels indicated that fried egg white has soft and watery texture. Further study was carried to improve product texture by mean of preheating the egg white in hot water bath before mixing with hydrocolloids. Meanwhile the addition of calcium chloride (0.02, 0.04% w/w) was also studied. The results revealed that preheating egg white at 45°C for 10 min followed by mixing with 0.1 Xa+0.2 Al+0.04 calcium chloride can reduce quality changes caused by freezing and decrease soft and watery texture of product. The product showed the increases in preference score of firmness, flexibility and overall liking by tested panels. The effects of type of freezing (sharp freezer at -25°C and cryogenic freezer at -40 °C to get product temperature of -25°C) and storage time (60 days at -20°C) were also studied. After 10 days storage at -20°C some small area of structural collapses were found in sharp freezer egg white sample. The increase in crystal size and a decrease in water holding ability after thawing and an increase in tough and rubbery texture occurred with the increase of storage time. However, cryogenic freezer sample showed less structural collapses of protein gel and less degree of quality changes in products. The study suggested that fried egg can be prepared by pouring pretreated egg white (according to the above results) in circular mold, rapidly dropped egg yolk and deep fat frying at 80°C, 7.5 min.

---

Student' s signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร ที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการทำวิจัย ตลอดจนสละเวลาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สงวนศรี เจริญเหรียญที่กรุณาตรวจแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งกราบขอบพระคุณ ดร. สิริชัย ส่งเสริมพงษ์ ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร. ทนง ภัครัชพันธุ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ตรวจแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ฟาร์มไก่หลวงสุวรรณวาจกสิกิจ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคุณสุพินที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการซื้อวัตถุดิบ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร เจ้าหน้าที่อาคารแปรรูป ที่อำนวยความสะดวก ให้ความรู้ และแนะนำในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการศึกษางานวิจัย

ขอบคุณ เจ๊ียบ หลิว แป้ง ฟีนก จูน เอ็ม นัท แหม่ม มิน เบส พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการ 2314 รวมถึงนิสิตปริญญาโทและเอก สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือในการทำงานวิจัย และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่เป็นกำลังใจที่สำคัญเสมอมา ทำให้สามารถผ่านอุปสรรคต่างๆ มาได้ด้วยดี และให้การสนับสนุนกำลังใจตลอดระยะเวลาในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์

วิภาศิริ สุวรรณผล

มิถุนายน 2557

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	43
ผลและวิจารณ์	51
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ภาคผนวก	99
ภาคผนวก ก การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบไข่สด	100
ภาคผนวก ข วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพเชิงเคมีฟอสฟอรัส	106
ภาคผนวก ค การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	112
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	114
ภาคผนวก จ แผนภาพการแช่เยือกแข็ง	119
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	121

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาว ไข่แดง และไข่ทั้งฟอง	9
2	คุณสมบัติของไข่และการเปลี่ยนแปลงของไข่	11
3	ส่วนประกอบในไข่ขาวของไข่ไก่	13
4	ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของโปรตีนไข่ขาว	18
5	ปริมาณน้ำและจุดเยือกแข็งของอาหารบางชนิด	29
6	องค์ประกอบโดยประมาณของไข่ไก่ไม่รวมเปลือกไข่	51
7	ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่ขาวของไข่ดาวที่ทอดน้ำมันท่วมด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ ซึ่งผ่านการแช่แข็งและให้ความร้อนซ้ำ	55
8	ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่ขาวที่ทอดสดใหม่และไข่ขาวแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำ	59
9	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็งที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ก่อนทดสอบ	61
10	ลักษณะเนื้อสัมผัสหลังการให้ความร้อนซ้ำของผลิตภัณฑ์ไข่ขาวทอด แช่เยือกแข็งที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับ $\text{CaCl}_2$ ที่ระดับต่างๆ	67
11	คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไข่ขาวทอด แช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำ	67
12	การแยกตัวของของเหลวจากไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งจากการแช่เยือกแข็งแบบซ้ำและการแช่เยือกแบบแข็งแบบไครโอเจนิคที่เก็บรักษาที่ -25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน	77
13	คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน	79

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง1 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการเติมแซนแทนกัมและโซเดียมอัลจิเนตต่อค่าแรงที่ประเมินได้จากการวัดเนื้อสัมผัส	115
ง2 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการเติมแซนแทนกัมและโซเดียมอัลจิเนตต่อค่าระยะทางที่ประเมินได้จากการวัดเนื้อสัมผัส	116
ง3 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การแยกตัวของของเหลวจากไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบช้าและการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคที่เก็บรักษาที่ -25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน	116
ง4 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การแยกตัวของของเหลวจากไข่ขาวทอดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบแข็งแบบโครโอเจนิค ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน	117
ง5 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าแรงในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็งแบบช้าและการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค หลังการให้ความร้อนช้าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน	117
ง6 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าระยะทางในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็งแบบช้า และการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค หลังการให้ความร้อนช้าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน	118

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างไขทั้งฟอง	4
2	ลำดับปรากฏการณ์ในการเกิดโครงสร้างของโปรตีน	19
3	แบบจำลองโครงสร้างของโกลบูลาร์โปรตีน	20
4	แผนภาพการแช่เยือกแข็ง	29
5	ลักษณะโครงสร้างของแอลจินेट	34
6	การประกบกันระหว่างบริเวณพอลิกลูโรเนตโดยมีไอออนของ $Ca^{2+}$ อยู่ในซอก	35
7	การผลิตเจลจากแอลจินेटโดยวิธีการเกิดเจลภายใน	36
8	โครงสร้างปฐมภูมิของแซนแทนกัม	37
9	การถ่ายเทมวลและความร้อนในการทอดแบบน้ำมันตื้น และการทอดแบบน้ำมันท่วม	39
10	การแข็งตัวของไข่แดงที่ทอดน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และ 7.5 นาที	53
11	ภาพไข่ดาวทอดน้ำมันท่วมที่สภาวะต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที, 7.5 นาที และ 10 นาที หลังการให้ความร้อนซ้ำ ในเตาไมโครเวฟ	55
12	ภาพไข่ดาวทอดน้ำมันท่วม ที่สภาวะต่าง ๆ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส, การพองฟูของไข่ที่ 95 องศาเซลเซียส, ทอดที่ 95 องศาเซลเซียส แช่แข็งและให้ความร้อนซ้ำ, ทอดที่ 80 องศาเซลเซียส, ทอดที่ 80 องศาเซลเซียส แช่แข็งและให้ความร้อนซ้ำ	56
13	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่ขาวและไข่แดงขณะทอดในน้ำมันร้อน $80 \pm 1$ องศาเซลเซียส	57
14	ลักษณะปรากฏของไข่ดาว (เฉพาะไข่ขาว) แช่เยือกแข็งที่เติม ไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณต่าง ๆ กัน หลังการให้ความร้อนซ้ำ และไข่ดาวที่ทอดใหม่ซึ่งไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์	62

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	ไข่ขาวทอดที่เติม Xa 0.1 % + Al 0.2 % + CaCl <sub>2</sub> 0.02 % หรือ CaCl <sub>2</sub> 0.04 % ก่อนและหลังการแช่แข็ง	64
16	ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลของไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็ง	65
17	ภาพจากกล้อง Stereo Microscope ของไข่ขาวที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ทอดแช่เยือกแข็งและผ่านการให้ความร้อนซ้ำ	65
18	ภาพจากกล้อง Stereo Microscope ของไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งที่เติม Xa 0.1 % + Al 0.2 % + CaCl <sub>2</sub> 0.04 % หลังให้ความร้อนซ้ำ	66
19	ภาพถ่ายด้านบนผิวหน้าของไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบซ้าและการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค	68
20	ไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำจากการแช่เยือกแข็งแบบซ้า และการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค	69
21	การเปรียบเทียบการแยกตัวของของเหลวจากไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งที่เก็บรักษาที่ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน จากการแช่เยือกแข็งแบบซ้าและการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค	69
22	โครงสร้างพื้นผิวด้านบนของไข่ขาวทอดเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง, ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบซ้าและให้ความร้อนซ้ำ และผ่านการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคและให้ความร้อนซ้ำ สักรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด	73
23	ภาพโครงสร้างตัดขวางของไข่ขาวทอดเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง, ไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบซ้าและให้ความร้อนซ้ำ และไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคและให้ความร้อนซ้ำ สักรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด	74
24	ภาพจากกล้องดิจิทัล ลักษณะปรากฏของไข่ดาว(เฉพาะไข่ขาว)ที่ทอดสดใหม่และไข่ดาวแช่เยือกแข็งแบบซ้าหลังการให้ความร้อนซ้ำและไข่ดาวแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคหลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน , 10 วัน , 30 วัน และ 60 วัน	81

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ภาพผิวหน้าของไข่ดาวจากกล้อง Stereo Microscope ไข่ดาวที่ทอดสดใหม่ และไข่ดาวแช่เยือกแข็งแบบซ้าหลังการให้ความร้อนซ้าและแบบโครโอเจนิค หลังการให้ความร้อนซ้าเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน , 10 วัน , 30 วัน , 60 วัน	82
26	โครงสร้างตัดขวางของไข่ดาวจากกล้อง Stereo Microscope ไข่ดาวที่ทอดสดใหม่ และไข่ดาวแช่เยือกแข็งแบบซ้าหลังการให้ความร้อนซ้าและแบบโครโอเจนิค หลังการให้ความร้อนซ้าเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน , 10 วัน , 30 วัน , 60 วัน	83
<b>ภาพผนวกที่</b>		
ข1	ตำแหน่งการวัดเนื้อสัมผัสของไข่ดาวหลังการละลายน้ำแข็ง	107
ข2	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดค่าเนื้อสัมผัส	108
ข3	การติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่ขาว	109
ข4	การติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่แดง	109
ข5	ของเหลวที่แยกได้โดยวิธีการเหวี่ยงแยก	111
ง1	แผนภาพค่าแรงของไข่ขาวที่เติมแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนต หลังการแช่เยือกแข็งและให้ความร้อนซ้า	115
จ1	แผนภาพการแช่เยือกแข็งแบบซ้าที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส ของไข่ดาวแช่เยือกแข็งซึ่งวัดอุณหภูมิบริเวณใจกลางไข่แดง	120
จ2	แผนภาพการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ของไข่ดาวแช่เยือกแข็งซึ่งวัดอุณหภูมิบริเวณใจกลางไข่แดง	120

## การพัฒนากระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง

### Development of Frozen Fried Egg Process

#### คำนำ

ไข่เป็นอาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญและมีราคาไม่แพง ไข่ที่มีการนำมาบริโภค ได้แก่ ไข่ไก่ ไข่เป็ด ไข่ห่าน และไข่นกกระทา ซึ่งสามารถนำมาบริโภคสด หรือทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้แก่ ไข่เค็ม ไข่เยี่ยวม้า ไข่ผง และไข่แช่เยือกแข็ง เป็นต้น ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าของไข่แล้วยังเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไว้ได้อีกด้วย (อาลักษณ์, 2548) การทำไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่ผ่านมา ทำโดยการนำไข่เหลวมาผสมส่วนต่างๆ ลงในแม่พิมพ์แล้วนำไปทำให้สุก ไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่นำไปให้ความร้อนซ้ำหรือการเก็บในตู้เย็นเป็นเวลานานจะสูญเสียเนื้อสัมผัสที่เคยยึดเกาะกันและจะสูญเสียการยอมรับทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ความรู้สึกในปาก รสชาติ ความยืดหยุ่น และ ความอ่อนนุ่ม อีกทั้งยังเกิดการแยกตัวของของเหลว (syneresis) หลังการทำละลาย (Merkle, 2012) ไข่ดาวแช่เยือกแข็งในท้องตลาดของประเทศไทยพบว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัสของไข่ขาวมากกว่าไข่แดง Cotterill (1995) รายงานว่าการแช่เยือกแข็งทำให้ไข่ขาวสุกมีลักษณะที่เหนียวคล้ายยาง และมีการแยกตัวของน้ำออกมา ไข่ขาวสุกจะมีลักษณะแยกตัวเป็นชั้นๆ ซึ่งเป็นการถูกทำลายจากการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบช้า

ไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งมักจะเรียกว่ากัม เป็นสารที่ได้มาจากพืช สาหร่าย จุลินทรีย์ หรือการสังเคราะห์ขึ้นมา กัมที่มีการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง ได้แก่ แชนแทนกัม และโซเดียมแอลจีเนต คุณสมบัติของแชนแทนกัมคือ การแขวนลอย (Suspension) การทำให้ไขมันกระจายตัว (Emulsification) การละลายน้ำ (Water-soluble) สารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening) และ การทำให้เกิดสมบัติการไหลแบบ Pseudoplastic สามารถปรับปรุงความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งโดยการจับกับน้ำอิสระ จึงจำกัดการเจริญเติบโตของผลึกน้ำแข็งและทำให้ได้เนื้อสัมผัสที่ต้องการ สำหรับแอลจีเนตมีคุณสมบัติคือ สารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening) การทำให้เกิดเจล (Gelling) การทำให้เกิดฟิล์ม (Film-Forming) ซึ่งการเกิดเจลเกิดได้เมื่อมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ด้วย นอกจากนั้นแอลจีเนตยังสามารถลดการเกิดผลึกน้ำแข็งและทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่ดี ดังนั้นเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง การทดลองนี้จึงศึกษาผลของ

การใช้เซนแทนกัมและโซเดียมแอลจินเตตต่อ ลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัสของไข่ขาวดาว  
แช่เยือกแข็ง



## วัตถุประสงค์

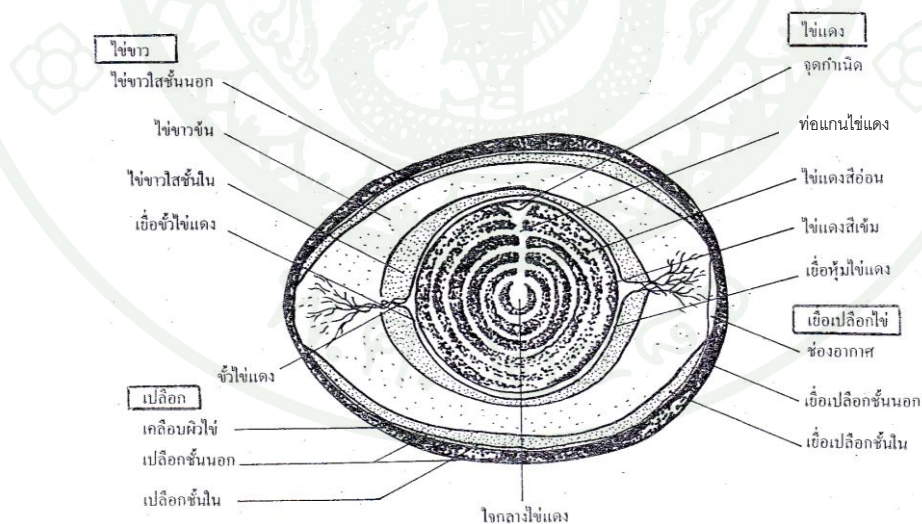
1. ศึกษาผลของ อุณหภูมิ และเวลาในการทอดต่อคุณภาพของไข่ดาวแช่เยือกแข็ง
2. ศึกษาผลของแซนแทนกัมและโซเดียมอัลจินेटต่อการลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่ดาว (เฉพาะไข่ขาว) แช่เยือกแข็ง
3. เปรียบเทียบผลของอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบเร็วต่อคุณภาพไข่ดาวแช่เยือกแข็ง
4. พัฒนาระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง

## การตรวจเอกสาร

### 1. ไข่

ไข่เป็นผลผลิตอีกชนิดหนึ่งที่ได้จากสัตว์ปีกพวกไก่และเป็ด ซึ่งมีความสำคัญในแง่ที่ ไข่เป็นอาหารของมนุษย์ มนุษย์รู้จักการบริโภคไข่มาหลายพันปีแล้วซึ่งปัจจุบันก็ยังคงบริโภคไข่กันอย่างแพร่หลายทั้งการบริโภคแบบไข่สดและไข่แปรรูป เราใช้ไข่ปรุงอาหารต่าง ๆ ทั้งคาวและหวาน อาหารพวกของหวาน เช่น ขนมเค้ก ทองหยิบ ทองหยอด ฝอยทอง เม็ดขนุน ขนมหม้อแกง สังขยา ฯลฯ ส่วนของคาวก็ใช้ในการทอด ผัด อบ และต้ม เป็นต้น (สมชาย, 2549)

ไข่ไก่ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ เปลือกไข่ ไข่ขาว และไข่แดง ไข่แดงจะถูกล้อมรอบด้วยไข่ขาว และโครงสร้างนี้จะถูกปิดล้อมด้วยเปลือกไข่ที่มีความแข็งดังภาพที่ 1 น้ำหนักของไข่ไก่และ น้ำหนักของส่วนประกอบทั้งสามส่วนขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของไก่ (Okubo et al, 1997) ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับไข่มีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 โครงสร้างไข่ทั้งฟอง

ที่มา: วรณวิบูลย์ (2539)

1.1 โครงสร้างของฟองไข่ ไข่ที่สมบูรณ์จะมีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน ได้แก่ เปลือกไข่ (shell) เยื่อเปลือกไข่ (shell membrane) ไข่ขาว (albumen) ไข่แดง (yolk) และ จุดเจริญ (germinal disc หรือ blastoderm) (สมชาย, 2549) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

1.1.1 เปลือกไข่ เป็นหินปูนแข็งเรียบติดแน่นอยู่กับเยื่อหุ้มเปลือกชั้นนอก ความหนาของเปลือกไข่จะขึ้นอยู่กับขนาดของไข่ ไข่ฟองเล็กจะมีความหนากว่าไข่ฟองใหญ่ นอกจากนี้ ความหนาของเปลือกไข่ยังขึ้นอยู่กับอาหาร พันธุ์ และฤดูกาลอีกด้วย ส่วนสีของเปลือกไข่มักจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์มากกว่าสิ่งอื่น เปลือกไข่จะมีรูขนาดเล็กที่น้ำและอากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ ซึ่งมีประโยชน์โดยเฉพาะการดองเค็มน้ำเกลือจะผ่านเข้าทางรูพรุนนี้ได้ ที่ผิวของเปลือกไข่ที่เพิ่ง ไข่ใหม่ ๆ จะมีนวลไข่ (cuticle) ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปในฟองไข่ได้ เปลือกไข่มีเนื้อเยื่อ 2 ชั้น เมื่อไข่ออกจากตัวแม่ไก่เยื่อทั้ง 2 จะแยกจากกันเกิดเป็นช่องอากาศ (air cell) ไข่ใหม่ ช่องอากาศจะแคบส่วนไข่เก่าช่องอากาศจะกว้าง (สมชาย, 2549)

1.1.2 เยื่อเปลือกไข่ (membrane) เป็นเส้นใยโปรตีนที่ประสานกัน ด้านที่ติดไข่ขาว เรียบ ส่วนด้านที่ติดกับเปลือกไข่ขรุขระ (สมชาย, 2549) เยื่อเปลือกไข่แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือชั้นที่ ติดกับเปลือกเรียกว่า เยื่อเปลือกไข่ชั้นนอก (shell membrane) และชั้นที่ติดกับเนื้อไข่เรียกว่า เยื่อเปลือกไข่ชั้นใน (egg membrane) กระชับติดกับเปลือกไข่ จนดูประหนึ่งเป็นชั้นเดียวกัน ประกอบด้วย เนื้อเยื่อโปรตีนประสานกันและยึดกันแน่น เมื่อไข่ออกจากตัวแม่ไก่และสัมผัสอากาศ ภายนอกซึ่งเย็นกว่า ส่วนประกอบภายในไข่เกิดการหดตัว แต่เนื่องจากเปลือกไข่จะหดตัวน้อยกว่า ส่วนประกอบภายในซึ่งล้อมรอบด้วยเยื่อเปลือกไข่ ทำให้เยื่อเปลือกไข่ชั้นในแยกออกจาก เยื่อเปลือกไข่ชั้นนอกซึ่งอยู่ติดกับเปลือกไข่ เกิดเป็นช่องอากาศ (air cell) อยู่ตรงส่วนป้านของไข่ ไข่ที่ออกจากตัวแม่ไก่ใหม่ๆ จะไม่มีช่องอากาศ เมื่อไข่เย็นตัวลงจาก 41 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็น อุณหภูมิในตัวแม่ไก่ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิของบรรยากาศรอบๆ ไข่ เนื้อไข่เกิดการหดตัวมากกว่า เปลือก จึงเกิดเป็นช่องอากาศขึ้น เมื่อเก็บไข่ไว้นานช่องอากาศจะยิ่งขยายโตขึ้น

การที่มีช่องอากาศอยู่ทางด้านป้านของไข่นี้มีประโยชน์ตามธรรมชาติสำหรับการหายใจเมื่อมีการเจริญของตัวอ่อนในไข่ นอกจากนี้ทางด้านป้านของไข่มีรูอากาศมากกว่า บริเวณอื่นของไข่ ช่วยในการระบายอากาศเข้าออกได้อย่างดี แต่ถ้าช่องอากาศอยู่ทางด้านแหลมของไข่ เชื้อตัวอ่อนที่ฟักจะตายอยู่ในเปลือก เนื่องจากขาดอากาศหายใจ ตามปกติช่องอากาศ

จะขยายตัวอยู่ตลอดเวลา ไข่ที่เก็บไว้นานความชื้นและก๊าซในไข่จะค่อย ๆ ระบายออกไป ปริมาตรของเนื้อไข่จะลดลง ช่องอากาศจะขยายใหญ่ขึ้น ขนาดของช่องอากาศจึงเป็นดัชนีบอกคุณภาพของไข่กับอายุการเก็บของไข่ได้เป็นอย่างดี (วรรณวิบูลย์, 2539)

1.1.3 ไข่ขาว (albumen) มีปริมาณร้อยละ 60 ของเนื้อไข่ทั้งหมด ขณะดิบๆ จะเห็นเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน หรือในไข่บางฟองอาจจะมีสีชมพูหรือสีเขียวอ่อนๆ ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยง ตามปกติจะมองเห็นไข่ขาวดิบเป็นส่วนที่เหลวใสกับส่วนที่ข้น และส่วนที่ใสจะห่อหุ้มไข่แดงและเป็นขี้ไข่แดง

ไข่ขาวแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

1. ไข่ขาวใสชั้นนอก ปริมาตรร้อยละ 23.2 โดยน้ำหนักของไข่ขาวทั้งหมด
2. ไข่ขาวข้น ปริมาตรร้อยละ 57.3 โดยน้ำหนักของไข่ขาวทั้งหมด
3. ไข่ขาวใสชั้นใน ปริมาตรร้อยละ 16.8 โดยน้ำหนักของไข่ขาวทั้งหมด
4. เยื่อขี้ไข่แดง ปริมาตรร้อยละ 2.7 โดยน้ำหนักของไข่ขาวทั้งหมด

ไข่ขาวใสชั้นนอก (outer thin) ดูจากภาพที่ 1 จะเห็นว่าไข่ขาวใสชั้นนอกอยู่รอบๆ ด้านข้างของไข่ขาวส่วนข้น เว้นส่วนหัวและท้ายของฟองไข่ คนทั่วไปมักเรียกไข่ขาวส่วนนี้ว่า น้ำค้างไข่ มีประโยชน์สำหรับเป็นตัวเจือจางน้ำเชื้อในการผสมพันธุ์เทียม และนอกจากนี้ยังมีสมบัติที่จะช่วยเพิ่มความฟูของขนมหวานบางอย่าง เช่น ทองหยิบ ปริมาตรและความชื้นของไข่ขาวในไข่แต่ละชนิด แตกต่างกันตามกรรมพันธุ์ของสัตว์ ไข่ขาวใสชั้นนอกของไข่ไก่มีความชื้นประมาณร้อยละ 88.8

ไข่ขาวข้น (firm albumen) อยู่ถัดจากไข่ขาวใสชั้นนอกเข้าไปเป็นชั้นของไข่ขาวชั้นที่ห่อหุ้มไข่แดงและไข่ขาวใสชั้นในไว้ ความชื้นในตัวมันจะช่วยประคองไข่แดงและไข่ขาวใสชั้นให้ลอยตัวอยู่ ป้องกันอันตรายจากการกระทบกระเทือนจากภายนอก ไข่ขาวชั้นนี้ประกอบด้วยเส้นใยมิวซินชั้นที่อยู่รวมกัน เพื่อความแข็งแรงในการเชื่อมยึดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นในที่ด้านบ้นกับด้านแหลมของฟองไข่ เมื่อได้รับความร้อนโปรตีนส่วนนี้จะแข็งตัวซึ่งจะสังเกตเห็นไข่ขาวชั้นส่วนนี้เป็นชั้นๆ ได้ด้วยตาเปล่า ไข่ขาวชั้นนี้มีความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 87.6

ไข่ขาวใสชั้นใน (inner thin) เป็นชั้นของไข่ขาวใสที่อยู่ติดกับไข่แดง ช่วยยึดไข่แดงให้ลอยตัวอยู่ตรงกลางฟองไข่ ส่วนประกอบของชั้นนี้ไม่มีมิวซิน มีความชื้นประมาณร้อยละ 86.4

เยื่อขั้วไข่แดง (chalaziferous) คือส่วนของไข่ขาวชั้นที่ห่อหุ้มไข่แดง โดยล้อมรอบเยื่อหุ้มไข่แดงอีกทีหนึ่งแล้วขมวดเป็นเกลียวอยู่ที่หัวท้ายตามแกนยาวของไข่แดง ส่วนที่ขมวดเป็นเกลียวนี้เรียกว่า ขั้วไข่แดง (chalazae) ไข่ขาวชั้นเยื่อขั้วไข่แดงนี้ มีความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 84.3 ซึ่งต่ำกว่าชั้นอื่นๆ เยื่อขั้วไข่แดงทำหน้าที่เป็นสายพุนรักษาสมดุลของไข่แดงให้อยู่ในใจกลางของฟองไข่ (วรรณวิบูลย์, 2539)

1.1.4 ไข่แดง (yolk หรือ vitellus) มีสีเหลืองถึงสีส้มอยู่ตรงกลางฟองไข่ ไข่แดงประกอบไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่สำรองไว้สำหรับเลี้ยงชีวิตใหม่ (สมชาย, 2554) และเป็นที่ยอมรับจุดกำเนิดหรือบลาสโตเดอรัม (blastoderm) ที่เป็นจุดตั้งต้นเจริญเติบโตของตัวอ่อน ไข่แดงมีรูปทรงค่อนข้างกลม ในไข่ใหม่ๆ จะเห็นว่าไข่แดงจะลอยตัวอยู่ตรงกลางห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มไข่แดงซึ่งเหนียวและใส โดยมีขั้วไข่แดงดังกล่าวแล้วยึดที่ตรงหัวท้าย ทำให้ไข่แดงหมุนตัวได้ในวงจำกัดตามแนวแกนกลางเท่านั้น และจะหมุนไปได้มากที่สุดเพียงเท่าที่ขั้วทั้งสองนี้จะบิดตัวไปได้ประมาณ 1 รอบเท่านั้น

โดยทั่วไปไข่แดงจะมีสีเหลืองอ่อนแก่ระดับต่างๆ ไปจนถึงสีส้ม ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ที่จะออกไข่ เช่น ไข่แดงที่พบในไข่บางฟองมีสีเหลืองทองของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) และสีเหลืองของแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) และคริปโตแซนทิน (cryptoxanthin) และสีสังเคราะห์ทางการค้า เช่น คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งใช้ผสมลงในอาหารเพื่อเพิ่มสีของไข่แดงให้เข้มข้น บางครั้งอาจพบไข่แดงบางฟองมีสีแดงอมเขียว ทั้งนี้มาจากสีของอาหารประเภทหญ้าหรือใบไม้ต่างๆ นั่นเอง

ไข่แดงแบ่งออกเป็นชั้นๆ ซึ่งชั้นต่างๆ ของไข่แดงมีความหนาไม่เท่ากันชั้นสีจางเป็นชั้นที่บางกว่า มีความหนาประมาณ 0.25-0.4 มิลลิเมตร ส่วนชั้นสีเข้มซึ่งหนากว่านั้นจะหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ชั้นที่อยู่ด้านในมักจะหนากว่าชั้นที่อยู่ด้านนอกๆ แต่ถ้าอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากระหว่างฤดูกาลเลี้ยง อาจสังเกตชั้นของสีในไข่แดงได้ยาก นอกจากนี้ในไข่แดงยังพบมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

ใจกลางของไข่แดงจะเห็นมีส่วนประกอบของไข่แดง ซึ่งมีลักษณะเป็นจุดๆ สีจางกว่าไข่แดงเล็กน้อย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 มิลลิเมตร ลักษณะคล้ายๆ เยื่อหุ้มไข่แดงแต่ค่อนข้างเหลว เวลาตีผสมจะไม่แข็งตัวเต็มที่เหมือนไข่แดงส่วนอื่น จากใจกลางไข่แดงนี้จะมีท่อทางยาวขึ้นไปสู่ผิวไข่แดง ปลายเปิดออกที่ได้จุดกำเนิดหรือบลาสโตเดอรัมดังกล่าวแล้วเรียกว่าท่อแกนไข่แดง (latebra) จะสังเกตเห็นว่าชั้นต่างๆ ของไข่แดง โดยเฉพาะชั้นที่มองเห็นเป็นแถบจางๆ ทุกชั้นจะมาบรรจบรอบของแต่ละชั้นที่ท่อแกนไข่แดง

เยื่อหุ้มไข่แดง (vitelline membrane) ไข่แดงจะห่อหุ้มอยู่ด้วยเยื่อบางๆ ซึ่งเรียกว่า เยื่อหุ้มไข่แดงมีความหนาเพียง 0.024 มิลลิเมตร มีลักษณะอ่อนนุ่ม พองตัวหรือหดตัวได้ ยึดติดดี เยื่อนี้อาจเป็นเนื้อเยื่อของเคราติน (keratin) และมิวซิน ที่ประกอบเป็นชั้นต่างๆ ซึ่งจำนวนชั้นยังพิสูจน์ไม่ได้ชัดเจนในขณะนี้ (วรรณวิบูลย์, 2539)

1.1.5 จุดเจริญ อยู่ชิดกับผิวหน้าไข่แดง เป็นที่อยู่ของโครโมโซมจากแม่ไก่ เมื่อได้รับการผสมจากตัวผู้จุดเจริญจะพัฒนาเป็นตัวอ่อนของลูกไก่ต่อไป

## 1.2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของไข่ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเถ้า ซึ่งแต่ละส่วนของไข่ก็มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันออกไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ถ้าคิดจาก 3 ส่วน คือ ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ มีดังต่อไปนี้

1.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไข่แดงจะมีไขมันมากที่สุด รองลงมาคือโปรตีนและเถ้า ไขมันในไข่แดงจะเป็นพวกไตรกลีเซอไรด์ ฟอสฟอไลปิด และไลโปโปรตีน ฟอสฟอไลปิดในไข่แดงที่สำคัญ คือ เลซิทีน (lecithin) โปรตีนในไข่แดงจะเป็นพวกวิทิลลิน (vitellin) วิตามินที่พบในไข่แดง ได้แก่ วิตามินเอ ดี อี เค วิตามินบี ในไข่แดงจะไม่พบวิตามินซีเลย คาร์โบไฮเดรตพบน้อยมากในไข่แดง แร่ธาตุที่พบในไข่แดง ได้แก่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และโพแทสเซียม

1.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาว จะกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อที่ 2 เรื่องไข่ขาว

1.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ เปลือกไข่จะรวมถึงเยื่อเปลือกไข่ด้วย องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกไข่ ได้แก่

ก. โปรตีนในเปลือกจะพบโปรตีนในส่วนนวลไข่และเยื่อเปลือกไข่เป็น สารประกอบพวกมิวซินและคอลลาเจน ในเยื่อเปลือกไข่จะพบสารประกอบพวก โอโวเคราติน (ovokeratin)

ข. สารประกอบอนินทรีย์ จะพบแคลเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมฟอสเฟต ไอโอดีน ตะกั่ว แมกนีเซียม และรงควัตถุอีกเล็กน้อย (สมชาย, 2549)

#### ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ขาว ไข่แดง และไข่ทั้งฟอง

ส่วน ของไข่	องค์ประกอบทางเคมี (%)				
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
ไข่ขาว	87.87- 89.37	9.7-10.6	0.03	0.4-0.9	0.5-0.6
ไข่แดง	45.8-51.2	15.7-16.6	31.8-35.5	0.2-1.0	1.1
ไข่ทั้งฟอง	72.8-75.6	12.8-13.4	10.5-11.8	0.3-1.0	0.8-1.0

ที่มา: Li-Chan *et al.* (1995)

### 1.3 สมบัติทางฟิสิกส์และชีวภาพของไข่

การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และชีวภาพของไข่ ที่มีความสัมพันธ์กับการนำไข่มาใช้เป็นอาหาร มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทำให้ทราบถึง ลักษณะเฉพาะของส่วนต่างๆ ของไข่ที่เป็นประโยชน์ สำหรับการนำไข่มาใช้ การเก็บรักษา และสำหรับการค้นคว้าต่อไป ซึ่งจะกล่าวถึงส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดังนี้

1.3.1 การแปรสภาพจากธรรมชาติ (denature) เนื่องจากส่วนประกอบของไข่เป็นโปรตีนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจึงมีการแปรสภาพจากธรรมชาติได้เมื่อได้รับความร้อน กรด เบส

สารละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น แอลกอฮอล์ อะซีโตน เป็นต้น แสงอุลตราไวโอเลต เอกซเรย์ คลื่นเสียง การกวน และความกดดันสูงๆ เป็นต้น การแปรสภาพจากธรรมชาติของโปรตีน คือ การเปลี่ยนแปลงที่ทำให้โปรตีนมีลักษณะผิดไปจากสภาพปกติที่เคยเป็นอยู่ เช่นเกิดการคลายตัวของโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งเป็นพอลิเปปไทด์ที่ขดเป็นเกลียวหรือพอลิเปปไทด์เกิดการเรียงตัวซ้อนกัน หรือขดกันรวมอยู่เป็นก้อนกลมด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิกและพันธะไอออนิก เป็นต้น เมื่อได้รับความร้อนขณะหุงต้ม หรือวิธีการอื่นใดที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อพันธะที่ดึงดูดอยู่ระหว่างพอลิเปปไทด์ ผลของการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของโปรตีนในไขลดน้อยลง การแปรสภาพจากธรรมชาติของโปรตีนนี้ จะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น pH ระดับอุณหภูมิแวดล้อม ความชื้น อัตราการเขย่าและอื่น ๆ เมื่อมีการแปรสภาพจากธรรมชาติไปแล้วสมบัติของโปรตีนในไขจะเปลี่ยนไปจากเดิม อาทิ ความหนืดจะสูงขึ้น แต่ปริมาตรและความหนาแน่นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ความสามารถในการละลายน้ำหรือสารละลายบางอย่างเปลี่ยนไป ย่อยได้ง่ายยิ่งขึ้น เป็นต้น

1.3.2 การตกตะกอนแข็งตัว (coagulation) ไขสดจะมีลักษณะเหลว เมื่อได้รับความร้อนจะข้นขึ้นและตกตะกอนแข็งตัว ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการละลายในไขของเหลวของโปรตีนในไขลดลง เกลียวของโปรตีนเกิดการคลายตัวแล้วเกิดพันธะไฮโดรโฟบิก พันธะไฮโดรเจน และพันธะไดซัลไฟด์ ระหว่างโมเลกุลจึง ทำให้โปรตีนไม่ละลายน้ำอีกต่อไป แต่จะโอบอุ้มน้ำไว้ในตาข่ายของโปรตีน เปลี่ยนลักษณะเป็นของเหลวข้น และถ้าได้รับความร้อนสูงขึ้นหรือระยะเวลาขึ้นจะยิ่งทำให้โปรตีนแข็งตัวอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าได้รับความร้อนสูงเกินไป โปรตีนที่ตกตะกอนและแข็งตัวจะแข็งเกินไป (over coagulation) จะหดตัวและบีบเอาน้ำออกมาแยกน้ำและส่วนโปรตีนที่แข็งตัวออกจากกัน ดังที่จะสังเกตเห็นได้ในไข่ตุ๋นที่ขึ้นนานและใช้ความร้อนสูงเกินไป จะมีน้ำเหลวๆ ซึมออกมาจากเนื้อไข่ตุ๋นมาก เนื้อไข่ตุ๋นจะแน่นแข็งไม่น่ารับประทาน ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า ซิเนอร์ซิส (syneresis) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนแข็งตัวของไขมีดังนี้

## ก. คุณภูมิและเวลาที่ใช้

## ตารางที่ 2 คุณภูมิของไข่และการเปลี่ยนแปลงของไข่

คุณภูมิของไข่ (องศาเซลเซียส)	การเปลี่ยนแปลงของไข่
57	ไข่ขาวบางส่วนเริ่มเป็นลิมพอสั่งเกตได้แต่ต้องใช้เวลานาน
58	ไข่ขาวเริ่มเปลี่ยนสีจากสีขาวใสเป็นสีขาวขุ่น (opalescent)
60 ขึ้นไป	ไข่ขาวเริ่มตกตะกิมสังเกตเห็นได้ชัดเจน
60.3	จุดตกลิมของไข่ขาวใสชั้นใน
61.0	จุดตกลิมของไข่ขาวชั้นชั้นกลาง
61.5	จุดตกลิมของไข่ขาวใสชั้นนอก
62	ไข่ขาวเป็นลิมชั้น
65	ไข่ขาวเป็นลิมชั้นไม่ไหล ไข่แดงเริ่มชั้นขึ้น
70	ไข่ขาวเป็นก้อนค่อนข้างแน่น แต่ยังอ่อนนุ่มคล้ายเยลลี่
	ไข่แดงเริ่มหยุดไหล มีความหนืดเพิ่มขึ้น
70 ขึ้นไป	ไข่ขาวเป็นก้อนแข็งตัว ไข่แดงสุก หดตัวและเหนียว

ที่มา: วรณวิบูลย์ (2539)

การทำให้ไข่เจือจางจะทำให้คุณภูมิที่ใช้ในการตกลิมสูงขึ้น ทำนองเดียวกันการระเหยน้ำออกจากไข่จะทำให้การตกลิมเกิดขึ้นที่คุณภูมิที่ต่ำกว่าปกติ

คุณภูมียิ่งสูงขึ้นทำให้ไข่ขาวตกลิมได้เร็วขึ้นและจะมีลักษณะเหนียวแข็งกว่าและมีการหดตัวมากกว่าไข่ขาวที่ตกลิมด้วยคุณภูมิที่ต่ำกว่าและใช้เวลาานกว่าแต่ในทางปฏิบัติจริง ถ้าต้องทำให้ไข่สุกโดยใช้ความร้อนประมาณ 85 องศาเซลเซียส (185 องศาฟาเรนไฮต์) ก็เพียงพอที่จะทำให้ไข่สุกและมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มและแน่น โดยการตกลิมจะเกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้น แต่ถ้าเป็นการหุงต้มไข่โดยใช้ตู้อบปรกฏว่าคุณภูมิของตู้อบระหว่าง 149 -176 องศาเซลเซียส (300-350 องศาฟาเรนไฮต์) ก็สามารถทำให้ไข่สุกได้ดีพอสมควร แม้ว่าบางคนอาจนิยมที่จะใช้คุณภูมิที่สูงกว่าซึ่งป้องกันการสุกเกินไปได้โดยการวางภาชนะบรรจุไข่ลงบนภาชนะที่มีน้ำ

อัตราการให้ความร้อนต่อไซ โดยเฉพาะการให้ความร้อนสูงและเร็วเกินไป ทำให้ไซตกลิ่มและแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อการปรุงอาหารได้ เนื่องจากอาจมีการจับตัวเป็นก้อนๆ ไม่น่าดู โปรตีนของไซหดตัวมากบีบน้ำออกมาดังกล่าว

อุณหภูมิที่เป็นจุดตกลิ่มแข็งตัวของไซแดงสูงกว่าของไซขาว ไซแดงจะเริ่มขึ้นขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส และแข็งตัวที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส

ข. สารปรุงแต่ง มีผลต่อการตกลิ่มของไซ ดังเช่น น้ำตาล ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิในการทำให้ไซสุกสูงขึ้น เกลือปริมาณเล็กน้อยช่วยให้ไซแข็งตัวเร็วขึ้น นอกจากนี้ความเป็นกรดเล็กน้อยของส่วนประกอบของอาหาร เช่น ผลไม้ ที่มีอยู่ในส่วนผสมทำให้ไซขาวแข็งตัวได้เร็วขึ้นและเนื้อไซจะแน่นและเนียน ลักษณะน่าดูกว่าไซที่ตกลิ่มโดยไม่มีความเป็นกรดอยู่เลย แต่ถ้าความเป็นกรดมากเกินไปจะทำให้ไซจับตัวเป็นก้อนไม่น่าดู

ค. สารเคมี อาทิ โพแทสเซียมคลอไรด์ ไอโอดีน แอมโมเนียม ไทโอไซยาเนต โซเดียม-คาร์บอเนต เกลือฟอสเฟต และแล็กเทต ช่วยในการตกลิ่มของไซ

ง. การคนหรือกวน ช่วยทำให้โปรตีนจากไซไม่จับตัวเป็นก้อน และยังช่วยให้เกิดสมบัติในการทำให้ขึ้นได้ดียิ่งขึ้น (วรรณวิบูลย์, 2539)

## 2. ไซขาว

ไซขาวมีประมาณร้อยละ 60 ของไซทั้งหมด ซึ่งในไซขาวมีน้ำและโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 88 และร้อยละ 10.4 ตามลำดับ และมีคาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และไขมันเล็กน้อย (Thapon and Bourgeois, 1994) ดังตารางที่ 3

### ตารางที่ 3 ส่วนประกอบในไข่ขาวของไข่ไก่

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
น้ำ	88
ไขมัน	เล็กน้อย
โปรตีน	10.6
คาร์โบไฮเดรต	0.8
เกลือแร่	0.6

ที่มา: Thapon and Bourgeois (1994)

#### 2.1 โปรตีนที่พบในไข่ขาว ได้แก่

2.1.1 โอวัลบูมิน (ovalbumin) เป็นโปรตีนหลักที่มีมากที่สุดไข่ขาวคือประมาณร้อยละ 54 ของโปรตีนในไข่ขาวทั้งหมดดังตารางที่ 3 โอวัลบูมินเป็นโปรตีนที่มีรูปร่างกลมและจัดเป็นฟอสโฟไกลโคโปรตีน (phosphoglycoprotein) เพราะมีหมู่คาร์โบไฮเดรตและหมู่ฟอสเฟตเกาะอยู่กับสายโพลีเปปไทด์ Vadehra and Nath (1973), Osuga and Feeny (1977) และ Zabik (1992) รายงานว่า โอวัลบูมินแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ A1, A2 และ A3 ซึ่งแบ่งจากปริมาณฟอสฟอรัสในโมเลกุล ซึ่ง A1 จะมีฟอสฟอรัส 2 กลุ่มต่อโมเลกุล A2 จะมี 1 กลุ่ม A3 จะไม่มีกลุ่มของฟอสฟอรัส โอวัลบูมินมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 45 kDa ประกอบด้วยกรดแอมิโนซิสเตอีน (cysteine; Cys) 4 หมู่ และซิสตีน (cystine) 1 หมู่ (Nakamura and Doi, 2000) จึงมีหมู่ซัลไฮดริล (sulfhydryl group; -SH) อิสระ 4 หมู่ อยู่ในโครงสร้างที่ขดม้วนพับของโปรตีน และมีพันธะไดซัลไฟด์ 1 พันธะ จัดเป็นโปรตีนไข่ขาวเพียงชนิดเดียวที่มีหมู่ซัลไฮดริลอิสระ โอวัลบูมินมีค่า pI (isoelectric point) เท่ากับ 4.5 - 4.7 (Li-Chan et al., 1995; Nakamura and Doi, 2000) จากการที่โอวัลบูมินมีหมู่ซัลไฮดริลอิสระ เมื่อได้รับความร้อนหรือเกิดการเสียสภาพ โปรตีนคลายเกลียว จึงเผยหมู่ซัลไฮดริลออกมา ทำให้โปรตีนเกิดพันธะไดซัลไฟด์กับโอวัลบูมินโมเลกุลอื่น หรือสารที่มีหมู่ซัลไฮดริลได้ (Campo-Deano and Tovar, 2009)

Lineweaver *et al.* (1967) รายงานว่า โอวัลบูมินร้อยละ 3-5 เสียสภาพด้วยการให้ความร้อนไข่ขาวที่ pH 9 อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 นาที ซึ่งเมื่อลด pH ลงมาอยู่ที่ 7.0 พบว่าโอวัลบูมินเกิดการเสียสภาพน้อยกว่าร้อยละ 0.1 เมื่อใช้วิธีการพาสเจอร์ไรซ์วิธีเดียวกัน Donovan and Mapes (1976) รายงานว่าในระหว่างการเก็บรักษาโอวัลบูมินจะถูกเปลี่ยนเป็นเอส-โอวัลบูมิน (S-ovalbumin) ซึ่งจะเป็นรูปที่มีความคงทนต่อความร้อนคือมีอุณหภูมิในการเสียสภาพที่ 92.5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับโอวัลบูมินปกติซึ่งมีอุณหภูมิในการเสียสภาพที่ 84.0 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ Alleoni (2006) ศึกษาผลของการเก็บรักษาไข่จากสัตว์ปีกที่สองอุณหภูมิ พบว่าปริมาณเอส-โอวัลบูมินซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน มีปริมาณร้อยละ 18, 26 และ 24 ตามลำดับ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 และ 14 วัน พบว่าเอส-อัลบูมินมีปริมาณร้อยละ 56 และ 69 ตามลำดับ

#### 2.1.2 โอโพรทรานส์เฟอริริน (ovotransferrin)

โอโพรทรานส์เฟอริรินหรือคอนอัลบูมิน (Conalbumin) เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดเป็นอันดับสองในไข่ขาวจัดเป็นไกลโคโปรตีน โดยมีปริมาณร้อยละ 13 ของไข่ขาวทั้งหมด ซึ่งมีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 60 ถึง 95 kDa มีค่า pI ระหว่าง 6.0 ถึง 6.6 (Vadhera and Nath, 1973). คอนอัลบูมินสามารถจับกับไอออนโลหะ (metal ions) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (protein-metal complex) ซึ่งจะต้านทานต่อการเสียสภาพด้วยความร้อน ความดัน เอนไซม์ และสารเคมี ที่ทำให้เกิดการเสียสภาพ (Azary and Feeney, 1958)

โอโพรทรานส์เฟอริรินทนความร้อนได้น้อยกว่าโอวัลบูมินเกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิต่ำโดยอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเสียสภาพเมื่อศึกษาด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ประมาณ 60-65 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่ไข่ขาวประมาณ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าไข่ขาวเกิดการข้นเหนียว มีตะกอนขุ่นขาว เนื่องมาจากการเสียสภาพของโปรตีนโอโพรทรานส์เฟอริริน นั่นเอง (Powrie, 1973; Woodward, 1990; Sugino *et al.*, 1997) Stadelman (1977) รายงานว่าที่ pH 3.2 คอนอัลบูมินจะเสียสภาพในเวลาไม่กี่วินาที ส่วนที่ pH 4.2 จะเกิดการเสียสภาพโดยใช้ระยะเวลาเป็นวัน สำหรับที่ pH 7.0 คอนอัลบูมินจะเสียสภาพร้อยละ 100 เมื่อได้รับความร้อนที่ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 นาที และเมื่อเพิ่ม pH ไปที่ 9.0 ที่อุณหภูมิเดียวกันพบว่า จะเกิดการเสียสภาพเพียงร้อยละ 50 (Lineweaver *et al.*, 1967)

### 2.1.3 โอิวมิวคอยด์ (ovomucoid)

โอิวมิวคอยด์ เป็นไกลโคโปรตีนที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20 - 25 (Osuga and Feeney, 1977) จัดเป็นพวกไกลโคโปรตีนที่ทนต่อความร้อน และทนได้มากกว่า โอิวทรานส์เฟอริน (ศศิภา, 2553) โอิวมิวคอยด์สามารถต้านทานการเสียสภาพด้วยความร้อน ในสารละลายกรดและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (Stadelman and Cotterill, 1973) โอิวมิวคอยด์มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 26,100 – 28,300 Da และมีค่า pI ระหว่าง 3.9 – 4.3 โปรตีนชนิดนี้มีความคงตัวเนื่องจากความแข็งแรงจากหมู่ hydrophobic และมีความต้านทานต่อความร้อนได้สูงจากการที่มีปริมาณซิสทีนสูง (cystine) มีจำนวนพันธะไดซัลไฟด์มาก (Vadehra and Nath, 1973)

### 2.1.4 โอิวมิวซิน (ovomucin)

โอิวมิวซินเป็นไกลโคโปรตีนที่มีหมู่ซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ (glycosulpho-protein) ซึ่งจะทำให้ส่วนของไข่ขาวชั้นเกิดโครงสร้างคล้ายเจล (Alleoni 2006) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ไข่ขาวชั้นมีลักษณะเป็นก้อนคล้ายวุ้น โอิวมิวซินจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 2 ของไข่ขาวทั้งหมด (Vadehra and Nath, 1973) และต่างจากโปรตีนอื่นๆ เพราะมีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีหมู่ซัลเฟต เอสเทอร์ (sulphate esters) และมีซิสทีนจำนวนมากเชื่อมต่อกันภายในโมเลกุล และมี salic acid ร้อยละ 50 ของไข่ขาวทั้งหมด (Stadelman and Cotterill, 1973) โอิวมิวซินมีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 5.5-8.3 MDa โอิวมิวซินมีหมู่ไดซัลไฟด์จำนวนมากและมีคาร์โบไฮเดรตถึงร้อยละ 33 (Vadehra and Nath, 1973) โอิวมิวซิน มีทั้งส่วนที่ละลายน้ำได้และส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งสองส่วนนี้ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ  $\alpha$ -ovomucin และ  $\beta$ -ovomucin โอิวมิวซินที่ละลายน้ำได้ประกอบด้วย  $\alpha$ -ovomucin 40 โมเลกุล และ  $\beta$ -ovomucin 3 โมเลกุล โอิวมิวซินที่ไม่ละลายน้ำประกอบด้วย  $\alpha$ -ovomucin 84 โมเลกุล และ  $\beta$ -ovomucin 20 โมเลกุล (Okubo, 1997)

### 2.1.5 ไลโซไซม์ (lysozyme)

ไลโซไซม์เป็นไกลโคโปรตีนเป็นสายโพลีเพปไทด์เดี่ยวซึ่งมีกรดอะมิโน 129 ตัว เชื่อมต่อกัน ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 14300-14600 Da และมีค่า pi เท่ากับ 10.7 ซึ่งมีอยู่ในไข่ขาวประมาณร้อยละ 3.5 (Stadelman and Cotterill, 1973) ไลโซไซม์มีความคงตัวสูงในสารละลายกรดและสามารถรักษากิจกรรมไว้ได้แม้ว่าจะใช้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 นาที การที่ไลโซไซม์มีความคงตัวต่ออุณหภูมิเนื่องจากมีพันธะไดซัลไฟด์ (Okubo, 1997) ไลโซไซม์เป็นเอนไซม์ในไข่ขาวที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ

### 2.1.6 อะวิดิน (avidin)

อะวิดินเป็นไกลโคโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 128 ตัว มีขนาดโมเลกุล เท่ากับ 15600 Da ซึ่งพบในไข่ขาวประมาณร้อยละ 5 อะวิดินสามารถจับกับไบโอตินซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มวิตามินบีทำให้เกิดการขาดวิตามินนี้ได้ สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะวิดินและไบโอตินนั้นสามารถทนความร้อนได้ดี ซึ่งการจะให้สารทั้งสองตัวนี้แยกออกจากกันต้องใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (Okubo, 1997) อะวิดิน มีค่า pi เท่ากับ 10.0 และมีพันธะไดซัลไฟด์ 1 พันธะ สามารถทนความร้อนได้ดีโดยมีอุณหภูมิเสถียรภาพเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส

### 2.1.7 โอวโกลบูลิน (Ovoglobulin)

โอวโกลบูลิน มีอยู่ประมาณร้อยละ 4 ของโปรตีนไข่ขาว พบว่าประกอบด้วยโปรตีน 3 ส่วน คือ  $G_1$ ,  $G_2$  และ  $G_3$  โดยที่  $G_1$  นั้นต่อมาได้ระบุว่าเป็นไลโซไซม์ (Okubo, 1997) โอวโกลบูลิน มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 30000-45000 Da และมีค่า pi ของ  $G_2$  และ  $G_3$  เท่ากับ 5.5 และ 5.8 ตามลำดับ (Vadehra and Nath, 1973)

### 2.1.8 โอวอินฮิบิเตอร์ (ovoinhibitor)

โอวอินฮิบิเตอร์สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน ไคโมทริปซินในไข่ และโปรติเอสของราและแบคทีเรีย (Okubo, 1997)

### 2.1.9 โอโอฟลาโวโปรตีน (Ovoflavoprotein)

โอโอฟลาโวโปรตีนมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.9 ของโปรตีนไข่ขาว (Stadelman, 1977) จัดเป็นสารประกอบประเภทฟอสโฟไกลโคโปรตีน มีขนาดโมเลกุลประมาณ 32 kDa และมีค่า pi เท่ากับ 4.0 ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15 ซึ่งมีน้ำตาลแมนโนสร้อยละ 6 กาแลคโตส ร้อยละ 1.3 กลูโคซามีน ร้อยละ 11.2 สามารถจับกับไรโบฟลาวิน (riboflavin) ที่พบในไข่ขาว ในอัตราส่วน 1:1 และทำหน้าที่ในการขนถ่าย ไรโบฟลาวินจากน้ำเลือดไปยังไข่ขาว (Li-Chan et al., 1995)

### 2.1.10 โอโอฟไกลโคโปรตีน (Ovoglycoprotein)

โอโอฟไกลโคโปรตีนจัดเป็นไกลโคโปรตีนประเภทกรดมีมวลโมเลกุล 24000 Da ประกอบด้วยน้ำตาลเฮกโซสร้อยละ 13.6 กลูโคซามีนร้อยละ 13.8 และ *N-acetylneuraminic acid* ร้อยละ 3 (Okubo, 1997) เป็นโปรตีนที่ทนต่อความร้อน โดยยังคงอยู่ในรูปที่ละลายได้แม้ให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส หรือจากการตกตะกอนด้วยกรดไตรคลอโรอะซิติก (TCA) (Li-Chan et al., 1995)

### 2.1.11 โอโอฟมาโครโกลบูลิน (Ovomacroglobulin)

โอโอฟมาโครโกลบูลินหรือโอโอฟสเตติน (Ovostatin) เป็นไกลโคโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เป็นอันดับสองรองจากโอโอฟมิวซิน มีมวลโมเลกุล  $7.6-9.0 \times 10^5$  Da (Okubo, 1997) และมีค่า pi เท่ากับ 4.5 โอโอฟมาโครโกลบูลินเป็นโปรตีนที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสประเภทซีรีน ซัลโฟไฮดริล และเมทัลโปรติเอส (Li-Chan et al., 1995)

นอกจากนี้ในไข่ขาวยังพบคาร์โบไฮเดรต ไรโบฟลาวิน แร่ธาตุและวิตามิน อีกด้วย

**ตารางที่ 4** ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของโปรตีนไข่ขาว

Protein	สัดส่วน (% dry weight)	pI	มวลโมเลกุล (Da)	T <sub>d</sub> (°C)	ลักษณะเฉพาะ
Ovalbumin	54	4.5	44,500	84	ฟอสโฟไกลโคโปรตีน
Conalbumin	12	6.1	77700	61	ทำปฏิกิริยากับโลหะเช่นเหล็ก
Ovomucoid	11	4.1	28000	77	ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน
Ovomucin	3.5	4.5-5	5.5-8.3 x 10 <sup>6</sup>	-	Sialoprotein
Lisozyme	3.4	10.7	14300	75	-
Globulin G <sub>2</sub>	4	5.5	49000	92.5	-
Globulin G <sub>3</sub>	4	5.8	49000	-	-
Avidin	0.05	10	68300	-	ทำปฏิกิริยากับไบโอติน

pI คือ isoelectric point T<sub>d</sub> คือ อุณหภูมิการเสียสภาพ

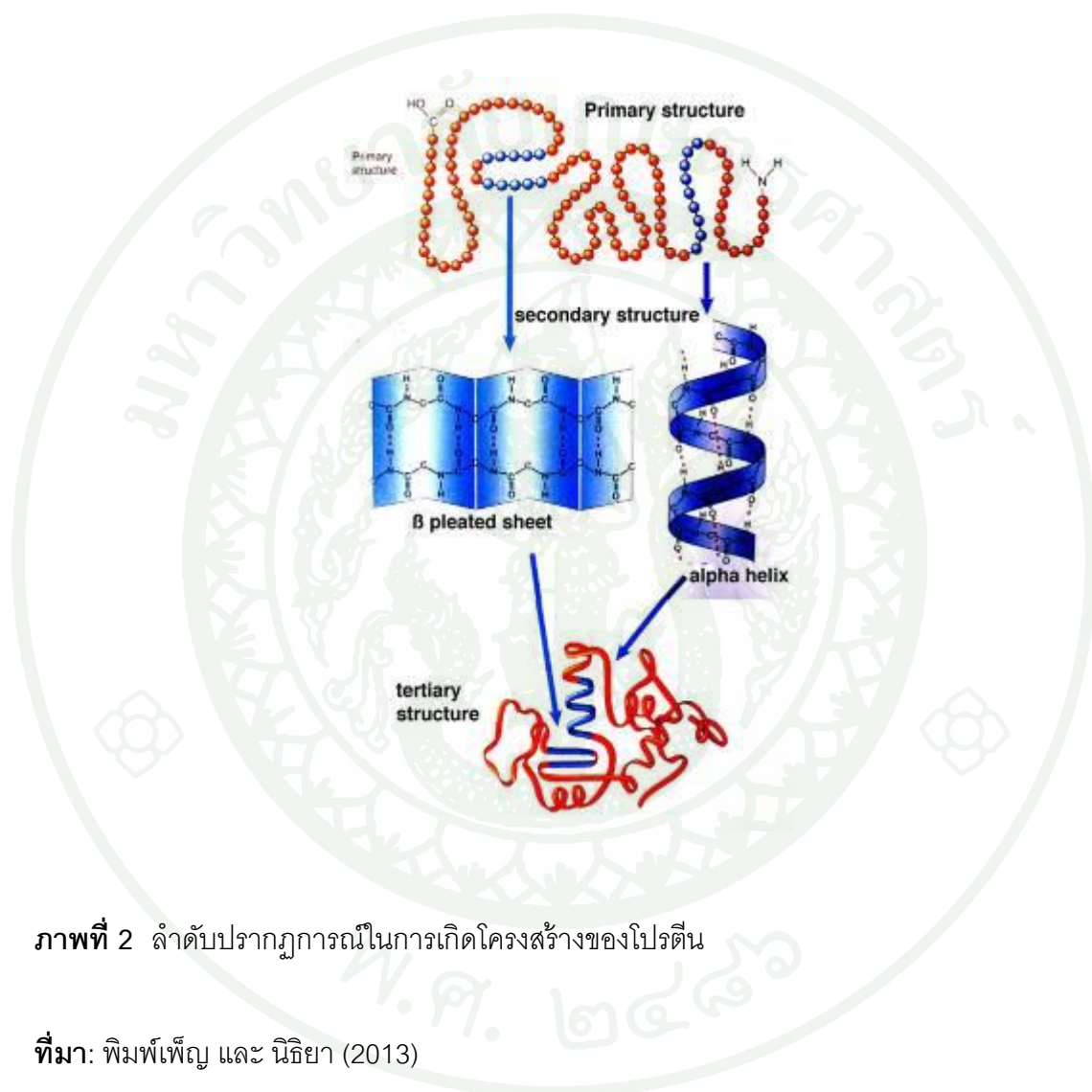
ที่มา: Powrie & Nakai (1985)

### 3. โครงสร้างของโปรตีนไข่ขาวและการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน

#### 3.1 โครงสร้างของโปรตีนไข่ขาว

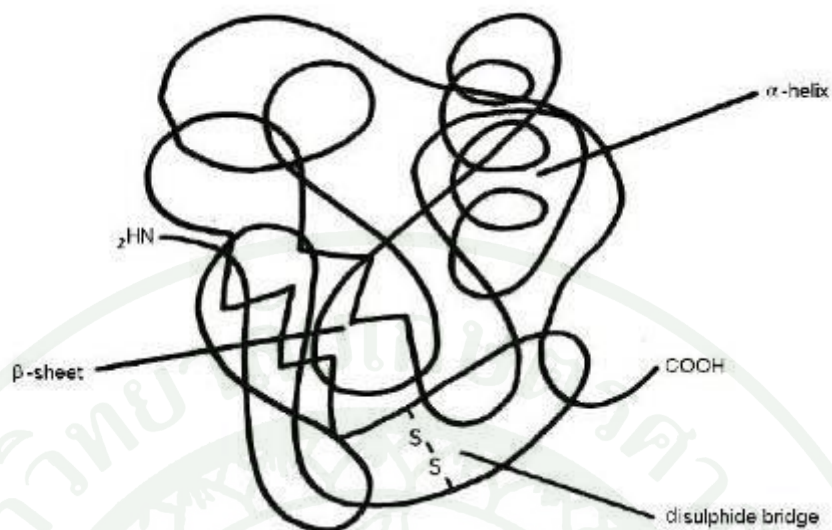
โครงสร้างของโปรตีนไข่ขาวเป็นกลุ่มของโกลบูลาร์โปรตีนหรือโปรตีนก้อนกลมซึ่งจัดเป็นโปรตีนที่มีโครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการที่ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) มาจัดเรียงตัวในสามมิติเพื่อให้มีความคงตัวมากขึ้น ซึ่งโกลบูลาร์โปรตีนเกิดจากสายของพอลิเพปไทด์เกิดการขด ม้วน และพับซ้อนไปมาด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะเชิงไฮออน van der Waals' force และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกเป็นหลักโดยภายในโครงสร้างมีแกนกลางที่เป็นส่วนไฮโดรโฟบิก และมีบริเวณที่มีขั้ว หรือมีประจุกระจายอยู่ที่ผิวของ

โครงสร้างทรงกลม เมื่อโปรตีนละลายอยู่ในน้ำ ในบางครั้งอาจมีการรักษาเสถียรภาพด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Fennema, 1996) ตัวอย่างของโกลบูลาร์โปรตีนที่สำคัญในไข่ขาวคือ โอวัลบูมิน โดยลำดับปรากฏการณ์ในการเกิดโครงสร้างตติยภูมิของโปรตีนแสดงดังภาพที่ 2 และแบบจำลองลักษณะโครงสร้างของโกลบูลาร์โปรตีนแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ลำดับปรากฏการณ์ในการเกิดโครงสร้างของโปรตีน

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา (2013)



ภาพที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างของโกลบูลาร์โปรตีน

ที่มา: Anonymous (2013)

### 3.2 การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนไข่ขาวเมื่อได้รับความร้อน

การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในไข่ขาวเมื่อได้รับความร้อน ตามลำดับดังนี้

#### 3.2.1 โปรตีนเกิดการคลายเกลียวบางส่วน (Protein partially unfolding)

เมื่อโปรตีนไข่ขาวได้รับความร้อนจะเกิดการคลายเกลียว หรือเกิดการเสียสภาพบางส่วนแยกส่วนของหมู่อะมิโนที่ไม่มีขั้วออกมา ทำให้มีส่วนของไฮโดรโฟบิกมากขึ้นบนโมเลกุลของโปรตีน โดยเฉพาะโวลบูลมินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในไข่ขาว มีหมู่ซัลไฮดริลจึงทำให้เกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและพันธะไดซัลไฟด์กับโวลบูลมินโมเลกุลอื่น หรือสารที่มีหมู่ซัลไฮดริลต่อไป จัดเป็นขั้นแรกของการเกิดโครงร่างสามมิติหรือการเกิดเจลของโปรตีน (Nishinari *et al.*, 2000; Christ *et al.*, 2005)

### 3.2.2 โปรตีนเกิดการเกาะกลุ่มกัน (Aggregation of protein)

โปรตีนที่เสถียรภาพ และคลายเกลียว เกิดการเกาะกลุ่มกันเนื่องจากเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก ระหว่างส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกบนโมเลกุลโปรตีน และเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลโปรตีนที่มีหมู่ซัลไฮดริล สังเกตจะเห็นไข่ขาวข้นเหนียวมากขึ้น มีสีขาวขุ่น จับตัวกันเป็นก้อน (Christ et al., 2005)

### 3.2.3 การเกิดโครงร่างสามมิติ หรือเกิดเจล (Three dimensional network formation or gel formation)

เมื่อให้ความร้อน และระยะเวลาขึ้นโปรตีนจะเกิดการเกาะกลุ่มกันมากขึ้น จนกระทั่งเกิดโครงร่างสามมิติ หรือเกิดเจล (Christ et al., 2005) ซึ่งโครงสร้างสามมิตินี้สามารถห่อหุ้มน้ำ (Ternes, 2001) ตลอดจนสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารเอาไว้ได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อไปมีผลทำให้เกิดเจลที่แข็งมากขึ้น การเกิดโครงร่างสามมิติมีผลทำให้ไข่ขาวหรืออาหารที่มีไข่ขาวเป็นส่วนประกอบมีลักษณะเป็นเจลแข็งหรือมีความหนืดสูงขึ้น (Zayas, 1997) ซึ่งการเกิดเจลเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ของไข่ขาวโดยมีการใช้ประโยชน์จากสมบัติการเกิดเจลของไข่ขาวนี้ในผลิตภัณฑ์ซูริมิ และการทำให้เกิดฟิล์มบางๆ ซึ่งใช้ประโยชน์เป็นฟิล์มที่บิโคโนได้ เป็นต้น

## 4. ผลิตภัณฑ์ไข่แช่เยือกแข็ง

การทำผลิตภัณฑ์เนื้อไข่แช่เยือกแข็ง จากเนื้อไข่ที่แยกเปลือกออกไปอาจนำไปทำการแช่เยือกแข็งในลักษณะที่เป็นไข่ดิบหรือไข่สุกก็ได้ การแช่เยือกแข็งจะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่มีในไข่ได้มากและไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อคุณสมบัติของไข่ขาวดิบและไข่แดงสุกแต่จะมีผลต่อไข่แดงดิบ ไข่ขาวสุก และไข่แดงผสมไข่ขาวทั้งดิบและสุก

ไข่แดงดิบแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -6 องศาเซลเซียส จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นและเกิดเจลเลชัน ทำให้เนื้อไข่แดงจับตัวเป็นก้อนเล็กๆ ดังนั้นในการผลิตไข่แดงดิบแช่เยือกแข็งจึงมีการเติมเกลือและน้ำตาลในไข่แดง ในอัตราส่วนเกลือผสมน้ำตาล ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักเนื้อไข่แดง หรืออาจใช้สารตัวอื่นเช่น น้ำเชื่อม กลีเซอริน หรือฟอสเฟต เป็นต้น สารเหล่านี้ทำหน้าที่

เป็นสารต้านการรวมตัว (Cryoprotective หรือ Antigelling agent) การทำเยือกแข็งอย่างรวดเร็ว และเก็บรักษามลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ มีส่วนช่วยลดปัญหาการเกิดเจลชั้นของไข่แดงด้วย เนื่องจาก ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กสม่ำเสมอกระจายทั่วเนื้อไข่แดง และโปรตีนในไข่แดงไม่เกิดการสูญเสียน้ำออกไปในระหว่างการแช่เยือกแข็ง จึงลดโอกาสที่โปรตีนจะมารวมตัวกันเป็นก้อนได้ ถ้านำไข่แดงผสมไข่ขาว (Whole egg) มาแช่เยือกแข็งจะเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกับที่เกิดในไข่แดงล้วน เพียงแต่ความรุนแรงของ เจลชั้นที่เกิดจะน้อยกว่ามาก กรรมวิธีการผลิตไข่ดิบแช่เยือกแข็งนั้น จะต้องทำการฆ่าเชื้อโรคจากเนื้อไข่โดยวิธีพาสเจอร์เซชันก่อนการนำไปทำเยือกแข็ง

ไข่แดงสุกที่ผ่านการทำเยือกแข็งจะยังคงคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้ดีเช่นเดียวกับไข่สด ทั้งยังช่วยให้ น้ำสลัดและไอศกรีมมีความข้นดีกว่าไข่สด

ไข่ขาวสุกแช่เยือกแข็งจะเกิดลักษณะแข็งเหนียวคล้ายเคียวยางและมีน้ำไหลแยกออกจากเนื้อไข่ เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ทำให้เจลโปรตีนของไข่ขาวดิบฉีกขาด เกิดการคืนสภาพของเจล ในการผลิตอาจเติมแอลกอฮอล์หรือคาราจีแนน อะการ์ หรือ สตาร์ช ในปริมาณร้อยละ 2 ลงในไข่ดิบ ผสมให้เข้ากันก่อนนำไข่ไปทำให้สุก การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้บ้าง

ไข่ขาวดิบแช่เยือกแข็งยังคงให้ลักษณะของการขึ้นฟูของขนมอบได้เช่นเดียวกับไข่สด มลิตภัณฑ์เนื้อไข่แช่เยือกแข็งนี้สามารถใช้ได้ทั้งในโรงงานผลิตเค้กหรือขนมอบ อุตสาหกรรมลูกกวาด ไอศกรีมหรือน้ำสลัด เป็นต้น โดยก่อนใช้ให้นำเนื้อไข่มาทำให้คลายความเย็นก่อนและไม่ควรทิ้งไว้นานเกินไปและไม่ใช้ความร้อนสูงในการทำให้คลายความเย็น

อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง โดยทั่วไป (-18.0 องศาเซลเซียส) - (-21.0 องศาเซลเซียส) ภายในเวลา 72 ชั่วโมง แต่ถ้าทำโดยการเป่าลมเย็นจัดอุณหภูมิ (-23.3 องศาเซลเซียส) - (-28.9 องศาเซลเซียส) จะใช้เวลาน้อยลง ตลอดระยะเวลาของการเก็บและขนส่งจนถึงผู้บริโภค ไข่จะต้องอยู่ในสภาพแช่เยือกแข็ง ณ อุณหภูมิที่ต่ำอยู่เสมอ เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียและการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่อาจหลงเหลืออยู่ในไข่ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ (วรรณวิบูลย์, 2539)

## 5. สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับไข่แช่เยือกแข็ง

สิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับไข่แช่เยือกแข็ง ได้มีผู้จดสิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ไข่แดงเหลวแช่เยือกแข็ง ไข่เหลวทั้งฟองแช่เยือกแข็ง ไข่ทั้งฟองแช่เยือกแข็ง ไข่ต้มแช่เยือกแข็ง ไข่ดาวแช่เยือกแข็ง และไข่เจียวแช่เยือกแข็ง สำหรับไข่แดงเหลวแช่เยือกแข็งมีผู้จดสิทธิบัตรวิธีการป้องกันการเสียสภาพ ของไข่แดงระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้เอนไซม์โปรติเอส ร้อยละ 0.001- 0.3 ที่ pH 5.0 – 9.0 เติมลงในไข่แดงเหลว หรือไข่เหลวที่มีไข่แดงผสมอยู่ แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็ง (Tadamitsu, 1980) นอกจากนี้ยังมีการนำไข่แดงมาผสมกับน้ำมันที่บริโภคได้ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด โดยการกวนผสมด้วยเครื่อง homogenizer ที่ความเร็ว 1000 rpm เป็นเวลามากกว่า 3 นาที เมื่อกวนผสมเสร็จแล้วแยก phase ของน้ำมัน และ phase ของไข่แดง ด้วยเครื่อง centrifuge และเก็บเอาส่วนของไข่แดง นอกจากนี้ส่วนของไข่แดงอาจเติมเครื่องปรุงอื่น เช่น เกลือหรือสารจำพวก saccharide ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการนำไปประกอบอาหาร วิธีการนี้สามารถป้องกันการเกิดเจลหลังการละลายน้ำแข็ง และสามารถเก็บรักษากลิ่นรส และสมบัติทางกายภาพของไข่แดงไว้ได้ (Mitsumune *et al.*, 1991) นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวนี้ Yasushi and Akifumi (1995) ได้จดสิทธิบัตรเกี่ยวกับสารป้องกันการเกิดเจลของไข่แช่เยือกแข็ง และสามารถรักษาความเป็นมันเงาไข่แดงไว้ได้ โดยสารที่ใช้ป้องกันการเกิดเจลของไข่แช่เยือกแข็งประกอบด้วย cyclofructan และ/หรือ trehalose นอกจากนี้สารป้องกันการเกิดเจลเหล่านี้ ยังสามารถใช้ สตาร์ทซ์ เช่น สตาร์ทซ์แป้งสาลี ประมาณร้อยละ 0.4 – 20 ผสมกับไข่แดง ร้อยละ 0.3 - 50 และน้ำ ร้อยละ 30 - 99 ซึ่งวิธีการนี้อาจเติมสารกลุ่ม thickening polysaccharides, monosaccharides, disaccharides, oligosaccharides และ sugar alcohols เป็นต้น (Akihiro and Mariko, 2000)

สิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ไข่เหลวแช่เยือกแข็งได้มีผู้จดสิทธิบัตรดังนี้ ในปี 1986 Tatsushi *et al.*, ได้จดสิทธิบัตรไข่เหลวสำหรับการแช่เยือกแข็ง โดยใช้การผสมไข่เหลวทั้งฟอง (whole egg) กับไข่ขาว (albumen) ที่อัตราส่วนเฉพาะและนำไปผสมกับเครื่องปรุงรส ซึ่งวิธีการนี้สามารถป้องกันการเสียสภาพของไข่เหลวแช่เยือกแข็งและง่ายต่อการนำไปประกอบอาหาร เช่น ไข่ตุ๋น (CHAWAN-MUSHI) เป็นต้น Yasushi (1991) ได้จดสิทธิบัตรการใช้สารต้านการเกิดเจลของไข่เหลวแช่เยือกแข็งได้แก่ inositol และ crystalline sugar alcohol เช่น sorbitol maltitol และ lactitol เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถนำ น้ำมัน และไขมัน หรือสาร emulsifier อื่นๆ มาผสมเพิ่มได้ นอกจากนี้สิทธิบัตรอื่นยังมีการเติมสาร เช่น hemicelluloses ร้อยละ 0.1-0.3 (Hitoshi *et al.*, 1997) และสิทธิบัตรของ Yasushi *et al.* (2002) ซึ่งใช้สาร polypeptide ร่วมกับ

การเติมสาร thickening polysaccharides และ/หรือ starch ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ไซโตบแซ่เยือกแข็งที่มีรสชาติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนการแช่เยือกแข็งรวมทั้งป้องกันไม่ให้เกิดลักษณะรูพรุน (spongy) และไม่ให้เกิดการหดตัวและบีบน้ำออก (syneresis) เมื่อนำไปแช่เยือกแข็งและทำการละลายน้ำแข็ง

สิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ไซโตบแซ่เยือกแข็งได้มีผู้จดสิทธิบัตรดังนี้ Kiyuuji (1981) ได้นำไซโตบมาจุ่มในสารฆ่าเชื้อแล้วนำไปจุ่มในส่วนผสมของเครื่องปรุงรส ได้แก่ เกลือ, ผงชูรส, เครื่องเทศ, ซิงหรืออบเชย ที่ต้มเดือดและมาทำให้เย็นก่อน เติมเอนไซม์ที่บริโภคได้เช่น bromelain หรือ papain จากนั้นนำไซโตบมาล้างน้ำแล้วนำไปจุ่มและเคลือบด้วยสารละลาย agar หรือ เจลาติน ร้อยละ 5 - 8 นำไปทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า แล้วนำมาใส่ในบรรจุภัณฑ์ แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -2 ถึง -5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เยือกแข็งต่อที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาในรูปไซโตบแช่แข็งจนกว่าจะนำไปใช้ นอกจากนี้วิธีการนี้ยังมีการแช่แข็งไซโตบทั้งฟองโดยการนำไปใส่ที่มีเปลือกข้าวหรือไซโตบตีไปให้ความร้อนในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 นาที จากนั้นนำไซโตบผ่านการให้ความร้อนแล้วไปแช่ใน acidic water ที่ผลิตจากน้ำ electrolyse เป็นระยะเวลาหนึ่ง แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ได้ไซโตบที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสของโปรตีนมีความแน่นเนื้อ และได้ไซโตบที่มีการฆ่าเชื้ออย่างปลอดภัยจากเชื้อแบคทีเรียก่อโรค (Shunji, 1996)

สิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ไซโตบแช่เยือกแข็งได้มีผู้จดสิทธิบัตรดังนี้ Epstein and Kans (1976) จดสิทธิบัตรวิธีการแช่เยือกแข็งไซโตบซึ่งตัดเป็นชิ้นๆ ทำโดยนำไซโตบมาต้ม จากนั้นทำให้เย็นโดยใช้น้ำผสมน้ำแข็งจนอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 10 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำมาปกปิดออก จากนั้นตัดเป็นชิ้นลูกเต๋า น้ำหนัก 50 กรัม ต่อชิ้น แล้วนำไปจุ่มในอ่างที่มีสารทำความเย็นเป็นเวลาสั้นๆ ซึ่งอุณหภูมิของสารที่ใช้ทำความเย็นอยู่ในช่วง -18 ถึง -198 องศาเซลเซียส ในปี 1995 Okinori และคณะได้ใช้วิธีการนำ ไซโตบมาแช่สาร phosphate ประมาณร้อยละ 0.1 - 0.2 และอาจใช้ร่วมกับ dextrin หรือ dextrin alcohol แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็ง วิธีนี้เมื่อทำการละลายน้ำแข็งแล้วจะทำให้ส่วนของไซโตบมีความแข็งคล้ายกับไซโตบที่เพิ่งต้มสุก ถัดมาในปี 1996 Tsuneo ได้ใช้วิธีการต้มไซโตบในสารละลายเครื่องปรุงรสที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อทำให้ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องปรุงรสอยู่ที่ผิวหน้าของไซโตบมีปริมาณมากกว่าน้ำ วิธีการนี้ให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้การแพร่ผ่านของเครื่องปรุงรสถึงส่วนในสุดของไซโตบ ซึ่งการที่ให้ความร้อนสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส นั้นอาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงโมเลกุลของสารมีพลังงานจลน์

มากขึ้น ทำให้โมเลกุลเหล่านี้เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการแพร่จึงเกิดขึ้นได้เร็ว (Meyertholen, 2014) จนกระทั่งน้ำและเครื่องปรุงรสแพร่กระจายเป็นลักษณะเดียวกันไปทั่วไข่ขาว แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิใกล้ศูนย์องศาเซลเซียส วิธีการนี้จะช่วยป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนจากการแช่เยือกแข็ง และป้องกันการสูญเสียเยื่อใยน้ำซึ่งจะรักษาความน่าพอใจของไข่ต้มหลังจากการละลายน้ำแข็งได้ ในปี 1997 Toru and Harumi ใช้วิธีการนำไข่ต้มที่เอาเปลือกออกแล้วมาตัดเป็นชิ้นๆ แล้วนำมาผสมกับ saccharide และ sugar alcohol ประมาณร้อยละ 3 - 30 ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของไข่ จากนั้นนำมาทำให้เย็นแบบสุญญากาศทันที แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็ง ซึ่งไข่ต้มแช่เยือกแข็งที่ได้จากวิธีการนี้จะไม่มีการแยกของน้ำ และมีเนื้อสัมผัสที่ดี ไม่มีการเสียสภาพจากการแช่เยือกแข็งและมีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับไข่ต้มใหม่ นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวข้างต้นยังมีวิธีการผลิตไข่ต้มแช่เยือกแข็งอย่างง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้โดยการนำไข่ที่ต้มแล้วทั้งเปลือกมาจุ่มในสารละลายน้ำตาลที่มี dextrin มีค่า DE 30 หรือมากกว่า ตามเวลาที่กำหนดให้และนำไปแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วก็ได้ไข่ต้มแช่เยือกแข็งที่ยังรักษาลักษณะปรากฏและรสชาติที่ดีไว้ได้ (Takao and Kenichi, 2009)

สิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ไข่ดาวแช่เยือกแข็งได้มีผู้จดสิทธิบัตรดังนี้ Yukio *et al.*, (1998) ได้จดสิทธิบัตรไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่ทำให้ได้ไข่ดาวหลังการละลายน้ำแข็งมีลักษณะใกล้เคียงกับไข่ดาวที่เพิ่งทอดใหม่โดยการผสมไข่แดงเหลว 1 กิโลกรัม ซึ่งเตรียมได้จากไข่ที่แยกเอาไข่ขาวออก จากนั้นนำมาผสมกับ สตาร์ช 50 กรัม แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปใส่ในเครื่องนวด (kneader) โดยให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะทำให้ไข่แดงเหลวแข็งตัวเป็นรูปครึ่งทรงกลม แล้วนำมาแบ่งเป็นส่วนๆ จะได้ไข่แดง 115 ส่วน ซึ่งมีน้ำหนัก 13 กรัมของไข่ดาว นำส่วนของไข่แดงที่ได้มาจุ่มในไข่ขาวเหลวที่มี pregelatinized starch ละลายอยู่ร้อยละ 3 นำส่วนของไข่แดงที่เคลือบแล้วมาใส่ใน 26 กรัมของไข่ขาวเหลวที่มีสตาร์ช 1 กรัมที่เตรียมแยกต่างหาก ในแต่ละพิมพ์ นำส่วนของไข่แดงใส่ไว้ตรงกลาง แล้วให้ความร้อนของไข่ทั้งหมดที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะได้ไข่ดาวน้ำหนัก 39 กรัม ปริมาณ 115 ฟอง นำมาทำให้เย็น และนำไปบรรจุแบบสุญญากาศ แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ความหนาของไข่ขาวที่เคลือบอยู่ที่ประมาณ 0.2-2 มิลลิเมตร ถัดมาในปี 2001 Tomoko *et al.*, ได้ใช้วิธีการแช่เยือกแข็งแบบเร็วด้วยระบบสุญญากาศ โดยใช้น้ำเกลือที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส แช่เยือกแข็งไข่ดาวที่บรรจุด้วยระบบสุญญากาศ การแช่เยือกแข็งแบบเร็วทำให้ได้ไข่ดาวที่เมื่อนำมาทำละลายจะมีคุณภาพใกล้เคียงไข่ดาวใหม่สด และไม่ต้องทำการเติมแต่งไข่ด้วยส่วนผสมอื่น

นอกจากนี้ยังมีการแช่เยือกแข็งไข่ในรูปแบบต่างๆ อีก เช่น การหยุดไข่เหลวลงใน liquefied gas refrigerant ซึ่งวิธีนี้จะได้ไข่ที่มีลักษณะคล้าย pop-corn ไข่เหลวที่ใช้สามารถเป็นได้ทั้งส่วนของไข่ขาว ไข่แดง หรือ ไข่ขาวผสมไข่แดง ซึ่งเมื่อหยุดไข่ดังกล่าวลงบน turbulent surface ของสารที่ทำให้เย็นแล้วให้นำไข่ที่ได้มาแยกแต่ละชั้นออกจากกันเพื่อระเหย liquefied gas บนชั้นไข่ออก และนำชั้นไข่ที่ได้นำไปเก็บที่สภาวะแช่เยือกแข็ง (Aref and Stroz, 1974) การเติมสารกลุ่มโปรตีน เช่น milk protein, wheat protein, soybean protein, muscle protein และการเติม starch โดยใช้โปรตีนร้อยละ 0.01 - 20 และ starch ร้อยละ 0.2 - 20 ซึ่งวิธีการนี้จะนำไปให้ความร้อนจนไข่แข็งตัวแล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็ง (Akihiro *et al.*, 2000) นอกจากนี้ยังมีการทำผลิตภัณฑ์ไข่เจียวแช่เยือกแข็งโดยใช้ thickening oligosaccharide (ตัวอย่างเช่น xanthan gum หรือ guar gum) ประมาณร้อยละ 0.03 - 3 มาบั่นผสมกับ oligosaccharide (ตัวอย่างเช่น maltooligosaccharide หรือ galactooligosaccharide) ประมาณร้อยละ 3 - 30 และ/หรือ sugar alcohol (ตัวอย่างเช่น sorbitol หรือ mannitol) นอกจากนี้ส่วนผสมต่างๆ อาจนำไปบั่นผสมกับ starch และ/หรือน้ำมัน ซึ่งวิธีการนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่สูญเสียให้น้ำน้อยเมื่อละลายน้ำแข็ง ผลิตภัณฑ์มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีเนื้อสัมผัสที่ดี ไม่แห้งเมื่อละลายน้ำแข็งด้วยเตาอบไฟฟ้า

## 6. ไข่ดาว (Fried egg)

ไข่ดาว (Fried egg) คือไข่ที่ทอดในน้ำมันโดยไม่ได้ตีผสมไข่แดงไข่ขาว น้ำมันที่จะใช้ทอดควรจะร้อนกว่าจุดที่โปรตีนของไข่ตกเล็กน้อย คืออุณหภูมิของน้ำมันควรจะเป็นประมาณ 182-190 องศาเซลเซียส (350-375 องศาฟาเรนไฮต์) หรือไม่ให้ร้อนเกินไป ปริมาณของน้ำมันควรจะมีมากพอที่จะป้องกันไข่ติดกระทะ ถ้ากระทะร้อนเกินไปอาจทำให้เกิดไอน้ำลอยตัวขึ้นจากไข่ ทำให้น้ำมันกระเด็นหรือระดูดออกนอกกระทะเกิดอันตรายได้ หรืออาจเกิดปัญหาจากการที่ไข่ขาวเกิดฟองฟูขึ้น ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันที่จะทอดต่ำเกินไป จะทำให้ไข่ขาวกระจายตัวออกมากเกินไป ไข่ที่เก็บในตู้เย็นเมื่อนำมาทอดลงในน้ำมันทันที จะกระจายและเกิดฟองอากาศฟูขึ้นน้อยกว่าไข่ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิของห้องตามปกติ เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิต่ำทำให้ไข่ข้นมากขึ้นนั่นเอง

ลักษณะของไข่ดาวขึ้นอยู่กับความประสงค์ที่จะบริโภค แต่ถ้าใช้บริโภคเป็นอาหารเช้า มักนิยมไข่ขาวที่อ่อนนุ่ม ไข่แดงยังอยู่ในลักษณะของเหลวข้น ไข่ขาวแข็งตัวแต่ไม่เหนียวหรือกรอบ ฉะนั้นในบางครั้งจึงมักครอบภาชนะทอดไข่ดาวพร้อมทั้งเติมน้ำเล็กน้อย เพื่อให้เกิดไอน้ำช่วยให้

ผิวบนของไข่แข็งตัว แต่ไม่กระด้างหรืออาจดาวไข่โดยใช้น้ำมันมากพอที่จะตั้งขึ้นมารวดไข่ จนไข่แข็งตัวตามต้องการ ยิ่งใช้เวลานานไข่ยิ่งแข็งตัว

นอกจากนี้อาจดาวไข่โดยใช้น้ำมันน้อย กระทะร้อนพอเหมาะเอาไข่ลงทอดจนไข่แข็งตัวพอควร ใช้ตะหลิวพลิกไข่อีกด้านหนึ่งขึ้น ให้ไข่สุกตามต้องการ

สำหรับไข่ดาวที่ชาวไทยเรานิยมรับประทานกับข้าวมักจะทอดด้วยน้ำมันที่ร้อนจัด จะได้ไข่ที่กรอบผิวไม่เรียบ สีคล้ำ มีรอยฟูของฟองอากาศ มีกลิ่นหอม วิธีการทอดไข่ นอกจากมีผลต่อ กลิ่นรส ของไข่แล้ว วิธีการอาจทำให้ได้พลังงานไม่เท่ากัน เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทอด แต่อาจทอดไข่โดยไม่ใช้น้ำมันโดยใช้กระทะเทฟลอน และควบคุมอุณหภูมิของกระทะประมาณ 149-163 องศาเซลเซียส (300-325 องศาฟาเรนไฮต์)

ไข่ดาวน้ำ (poached egg) คือไข่ดาวที่ใช้ไข่แทนน้ำมัน ภาชนะที่ใช้ควรจะพอเหมาะที่จะช่วยระคองฟองไข่ไม่ให้กระจายตัวมาก ใส่น้ำลงในปริมาณที่มากพอให้มิดไข่ที่จะต๋อยลงไป ต้มน้ำให้เดือดแล้วยกออกจากไฟค่อยๆ ต๋อยไข่ลงในน้ำที่ต้มเดือดแล้วนั้น ถ้าอุณหภูมิประมาณ 85 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ประมาณ 4 - 6 นาที หรือทิ้งไว้จนไข่ขาวเปลี่ยนสี จากใสเป็นสีขาวขุ่น และเริ่มแข็งตัวทั้งฟอง ไข่ขาวแข็งตัวเรียบ ไข่แดงมีลักษณะครึ่งเหลวครึ่งแข็งและคลุมด้วยไข่ขาวเคลือบอยู่รอบๆ ไข่แดง อาจเติมเกลือ 1/2 ช้อนชาหรือน้ำส้มสายชู 1-2 ช้อนชา ลงในน้ำที่จะดาวไข่ เพื่อเร่งการแข็งตัวของไข่ทำให้ขอบไข่ดาวนั้นเรียบสวยงามแต่ไข่ดาวน้ำที่ได้จะมีลักษณะขาวขุ่น และดีกว่าการดาวโดยใช้ไข่แต่เพียงอย่างเดียว ไข่เหมาะสำหรับการทำไข่ดาวน้ำควรเป็นไข่ใหม่ จะทำให้ไข่ดาวน้ำที่ได้มีลักษณะสวยงามขอบเรียบถ้าไข่เก่า ไข่ขาวจะเหลวและกระจายออกขอบไม่เรียบ วิธีการต๋อยไข่ลงในน้ำก็มีผลต่อลักษณะของไข่ดาวน้ำที่ได้ด้วย เพื่อที่จะให้ได้ไข่ดาวน้ำลักษณะสวยงาม จึงมักนิยมต๋อยไข่ใส่ลงในถ้วยเล็กเสียก่อน แล้วค่อยๆ ถ่ายลงในน้ำอย่างเบาเมื่อทันที (วรรณวิบูลย์, 2539)

## 7. อาหารแช่เยือกแข็งและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่แข็ง

### 7.1 กระบวนการแช่เยือกแข็ง

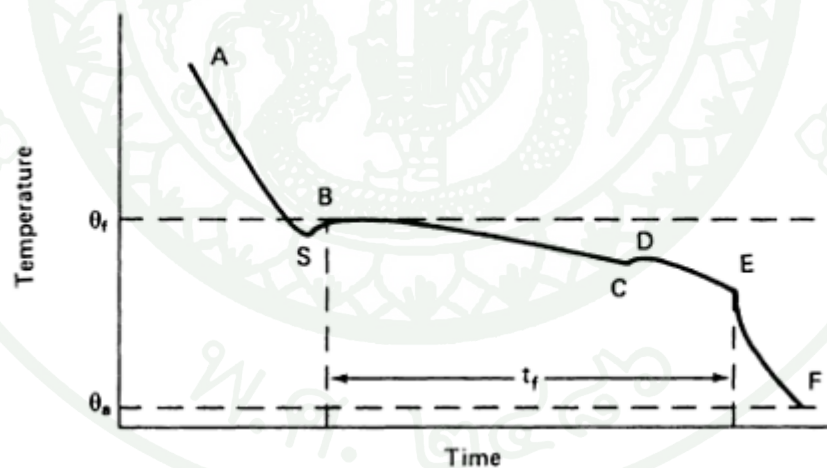
การแช่แข็งเป็นกรรมวิธีการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งโดยส่วนของน้ำจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นผลึกน้ำแข็ง ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของอาหารลดลง เนื่องจากตัวละลายในน้ำที่ยังไม่แข็งตัวมีความเข้มข้นสูงขึ้นอาจใช้กรรมวิธีเบื้องต้นคือ การลวกประกอบด้วย ถ้าใช้วิธีแช่แข็งและการเก็บรักษาที่ถูกต้องเหมาะสม อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านโภชนาการและประสาทสัมผัสน้อยมาก

การกำจัดความร้อนสัมผัส (sensible heat) ออกในระหว่างการแช่แข็งทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงสู่จุดเยือกแข็ง ปริมาณความร้อน (heat load) เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเครื่องแช่แข็ง กำจัดความร้อนแฝงในการตกผลึกออกไปและทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขึ้น อาหารส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนสูง (ตารางที่ 5) ส่วนประกอบอื่น ๆ ต้องการความร้อนสำหรับการตกผลึกเพียงเล็กน้อย น้ำมีค่าความร้อนจำเพาะ (4,200 จูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส) และค่าความร้อนแฝงสำหรับการหลอมเหลวสูง (335 กิโลจูล/กิโลกรัม) จึงต้องใช้พลังงานในการแช่เยือกแข็ง อาหารสูงด้วย พลังงานดังกล่าวอาจอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้อัดก๊าซหรือสารทำความเย็นในเครื่องแช่แข็งเชิงกล หรือเพื่ออัดและ ทำให้ไครโอเจนมีอุณหภูมิต่ำลง (วิล, 2547) ซึ่งแผนภาพการแช่เยือกแข็งดังแสดงในภาพที่ 4

### ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำและจุดเยือกแข็งของอาหารบางชนิด

อาหาร	ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	จุดเยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)
ผัก	78-92	-0.8 to -2.8
ผลไม้	87-95	-0.9 to -2.7
เนื้อ	55-70	-1.7 to -2.2
ปลา	65-81	-0.6 to -2.0
นม	87	-0.5
ไข่	74	-0.5

ที่มา: Fellows (2000)



ภาพที่ 4 แผนภาพการแช่เยือกแข็ง

ที่มา: Fellows (2000)

จากภาพที่ 4 AS อุณหภูมิของอาหารจะลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง  $\theta_f$  ซึ่งนอกจากน้ำบริสุทธิ์แล้วจะต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เสมอ (ตารางที่ 5) ที่จุด S น้ำจะยังเป็นของเหลวอยู่แม้ว่า

จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งก็ตามปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการทำเย็นยิ่งยวด (super cooling) บางครั้งอาจต่ำกว่าจุดเยือกแข็งถึง 10 องศาเซลเซียส

SB อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเยือกแข็งในขณะที่เริ่มมีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นและมีการปล่อยความร้อนแฝงสำหรับการตกผลึก

BC มีการกำจัดความร้อนออกจากอาหารในอัตราเร็วกว่าเดิม เกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นในขณะที่มีการกำจัดความร้อนแฝงออกไป แต่อุณหภูมิยังคงค่อนข้างเท่าเดิม จุดเยือกแข็งจะลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายในของเหลวที่ยังไม่แข็งตัวเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิจะลดลงเล็กน้อย น้ำแข็งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงนี้

CD สารละลายหนึ่งจะเกิดการอิมิตัวยิ่งยวดและตกผลึกออกมา ความร้อนแฝงของการตกผลึกถูกปล่อยออกมา อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นถึงอุณหภูมิยูเทคติก (eutectic) สำหรับสารละลายนั้น

DE การตกผลึกของน้ำและสารละลายดำเนินต่อไป กำหนดเวลาทั้งหมด  $t_f$  (freezing plateau) ได้โดยอัตราการกำจัดความร้อน

EF อุณหภูมิของส่วนผสม น้ำ-น้ำแข็ง ลดลงสู่อุณหภูมิของเครื่องแช่เยือกแข็ง (Fellows, 2000)

## 7.2 อัตราการแช่เยือกแข็ง

อัตราการแช่เยือกแข็งกำหนดเป็น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของการแช่เยือกแข็งต่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งมีหน่วยเป็น อุณหภูมิต่อระยะเวลาหรืออาจกำหนดเป็นระยะทางการเกิดผลึกน้ำแข็งที่เคลื่อนที่เข้าไปจากผิวนอกของผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งมีหน่วยเป็นระยะทางต่อเวลา (Persson and Londahl, 1993, Heldman and Taylor, 1997)

การแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) เป็นการแช่เยือกแข็งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ทั้งชิ้นเยือกแข็งโดยอาจใช้เวลาตั้งแต่ 3 - 72 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า -15 องศาเซลเซียส การแช่เยือกแข็งจะดำเนินไปอย่างช้าๆ โดยเกิดจากภายนอกเข้าไปสู่ภายในของผลิตภัณฑ์ น้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ (extracellular water) จะแข็งตัวเร็วกว่าน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ เนื่องจากน้ำภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายต่ำกว่าทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็ง การทำให้อาหารแข็งตัวอย่างช้า ๆ น้ำค่อย ๆ แยกตัวออกจากเซลล์รวมตัวเป็นเกล็ดน้ำแข็ง น้ำแข็งจะเป็นผลึกใหญ่และมีขนาดไม่สม่ำเสมอและอยู่ระหว่างเซลล์ ในบริเวณที่มีน้ำอิสระมากน้ำที่ขยายตัวเมื่อแข็งอาจดันให้เซลล์แตกได้ เมื่อนำเอาอาหารแช่แข็งประเภทนี้มาละลาย น้ำจะไหลออกจากอาหาร ถ้าเซลล์แตกจำนวนมาก สารอาหารต่าง ๆ ก็ไหลออกมามาก รสชาติของอาหารจะด้อยลงและมีลักษณะแข็ง

การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (quick freezing) เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งโดยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารทั้งชิ้นเยือกแข็งภายในเวลา 30 นาทีหรือน้อยกว่า อุณหภูมิอาจอยู่ในระหว่าง -18 องศาเซลเซียส ถึง -40 องศาเซลเซียส การแช่เยือกแข็งแบบนี้อุณหภูมิก่อนแช่หรือผลิตภัณฑ์เนื้อที่นำมาแช่แข็งนั้นจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เกล็ดน้ำแข็ง เล็ก ๆ จะเกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบทั่วเนื้อเยื่อของเนื้อ ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดน้ำแข็งเล็ก ๆ ไม่สามารถเพิ่มขนาดขึ้นได้ จึงได้น้ำแข็งเล็ก ๆ ที่มี ขนาดสม่ำเสมอและอยู่ภายในเซลล์เป็นส่วนใหญ่ เมื่อทำให้อาหารแช่แข็งละลาย น้ำแข็งผลึกเล็ก ๆ ย่อม ละลายอย่างรวดเร็วและน้ำยังคงอยู่ภายในเซลล์จึงถูกดูดกลับเข้าไปโดยโมเลกุลของโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ไม่ออกจากอาหาร ทำให้อาหารมีคุณภาพดี (อุมาพร, 2557)

### 7.3 การเปลี่ยนแปลงในอาหารและผลกระทบของการแช่เยือกแข็ง

ผลกระทบของการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพอาหารคือ เกิดความเสียหายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น การแช่แข็งมีผลต่อสี กลิ่น รส หรือคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก การสูญเสีย ดังกล่าวอาจเกิดในขั้นตอนการเตรียม หรือในระหว่างการแช่เยือกแข็ง รวมทั้งในระหว่างการเก็บรักษา ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อหรือภายในองค์ประกอบของเซลล์ส่วนใดนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการเยือกแข็ง อุณหภูมิของตัวอย่างและลักษณะของเซลล์ การแช่เยือกแข็งเซลล์พืช เซลล์สัตว์หรือองค์ประกอบของเซลล์ เช่น จุลินทรีย์ เม็ดเลือดแดง การแช่เยือกแข็งอย่างช้า (ที่อัตราเร็วต่ำกว่า 1 องศาเซลเซียส/นาที) โดยทั่วไปจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ ขนาดความเสียหายขึ้นกับขนาดของผลึกน้ำแข็ง และอัตราการถ่ายเทความร้อน ปัจจัยที่มีผลต่อ

คุณภาพของผลิตภัณฑ์มาก ได้แก่ ชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบ วิธีจัดการก่อนการแช่เยือกแข็ง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากวิธีแช่เยือกแข็ง การเก็บรักษาระหว่างการแช่เยือกแข็ง และวิธีละลาย น้ำแข็งแนวคิดโดยทั่วไปเรื่องอัตราการแช่เยือกแข็ง คือ การแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วเท่าไรก็ยิ่งดีขึ้นเท่านั้น ในระหว่างการแช่เยือกแข็งอย่างช้า ผลึกน้ำแข็งจะเติบโตขึ้นช่องว่างระหว่างเซลล์ สูญเสียรูปร่างและทำให้เซลล์ใกล้เคียงแตก ผลึกน้ำแข็งมีความดันไอน้ำต่ำกว่าภายในเซลล์ น้ำจากเซลล์จึงเคลื่อนที่ไปยังผลึกที่เติบโตใหญ่ขึ้น เซลล์จึงสูญเสียน้ำและได้รับความเสียหายต่อไป เนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงขึ้น ในการละลายน้ำแข็ง ในอาหารนี้เซลล์จะไม่กลับมามีรูปร่างและความแข็งแรงเหมือนเดิม อาหารจะนิ่มและสารต่าง ๆ ในเซลล์จะไหลออกจากเซลล์ที่เสียหายหรือเรียกว่า น้ำไหลซึม (drip) ส่วนการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งทั้งในเซลล์ และในช่องว่างระหว่างเซลล์จะมีขนาดเล็กจึงเกิดความเสียหายทางกายภาพเพียงเล็กน้อยและไม่เกิดความแตกต่างของความดันเซลล์จึงสูญเสียน้ำน้อยมาก เนื้อสัมผัสของอาหารจึงยังคงดีอยู่ แต่ถ้าอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดแรงเค้นภายในอาหารและทำให้น้ำเยื่อเกิดการแตกหรือแยกออกจากกันได้ (วิล, 2547)

## 8. แอลจีเนต

แอลจีเนต (alginate) หรือ แอลจिन (algin) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (*Phaeophyceae*) (Sime, 1990) ค้นพบแอลจีเนตครั้งแรกในปี 1881 โดย Stanford ขณะที่เขากำลังศึกษาการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Nussinovitch, 1997) สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลหลายชนิดมีแอลจีเนตแต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่จะมีปริมาณมากพอและสะดวกต่อการนำมาใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม ซึ่งที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่คือ *Laminaria hyperborea*, *Macrocystis pyrifera* และ *Ascophyllum nodosum* (Sime, 1990) แอลจีเนตทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างในผนังเซลล์สาหร่ายทะเลสีน้ำตาล โดยอยู่ในรูปสารประกอบเกลือผสมของ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมของกรดแอลจินิก (alginic acid) โครงสร้างเป็นโมเลกุลสายโซ่ยาวประกอบด้วยกรด  $\beta$ -D-แมนนูโรนิก (D-mannuronic acid) และกรด  $\alpha$ -L-กลูโรนิก (D-guluronic acid) (วรรณ, 2551)

## 8.1 โครงสร้างของแอลจินเนต

แอลจินเนตเป็นโพลิเมอร์สายตรงประกอบด้วยมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ  $\beta$ -D-แมนนูโรนิก (D-mannuronic acid)(M) และกรด  $\alpha$ -L-กลูโรนิก (L-guluronic acid)(G) ซึ่งสายพอลิเมอร์ของ แอลจินเนตเกิดจากการเชื่อมต่อกันของมโนเมอร์ด้วยพันธะไกลโคซิดิก (1,4) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของโมเลกุลหนึ่งกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของอีกโมเลกุลหนึ่ง (Draget, 2009) ทำให้เกิด สายพอลิเมอร์ 3 ชนิด (ภาพที่ 5) คือ

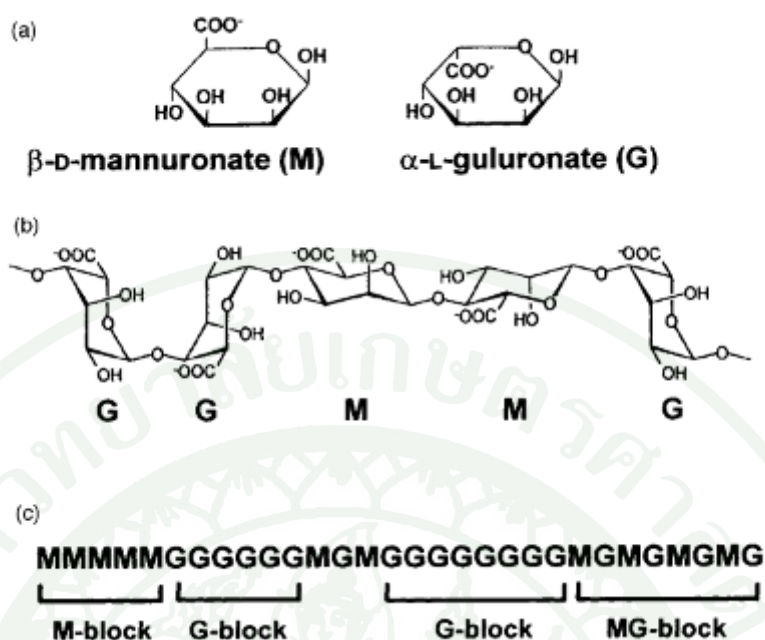
M blocks ประกอบด้วย D-mannuronic acid เพียงอย่างเดียว หน่วยมโนเมอร์กรด  $\beta$ -D-แมนนูโรนิก (M) จะอยู่ลักษณะโครงสร้างแบบเก้าอี้  ${}^4C_1$  และการจับต่อกันระหว่างมโนเมอร์ ในบล็อก M จะเป็นพันธะ  $\beta$  - 1,4 ไกลโคซิดิก

G blocks ประกอบด้วย L-guluronic acid เพียงอย่างเดียว หน่วยมโนเมอร์กรด  $\alpha$ -L-กลูโรนิก (G) จะอยู่ลักษณะโครงสร้างแบบเก้าอี้  ${}^1C_4$  และจับต่อกันระหว่างมโนเมอร์ในบล็อก G ด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 ไกลโคซิดิก

MG blocks ประกอบด้วย D-mannuronic acid และ L-guluronic acid

ในสายโมเลกุลของแอลจินส่วนที่เป็นบล็อก G มีลักษณะโครงสร้างแบบริบิ้นที่ถูกพับ ให้คงรูปมีความแข็งตึง แต่ในส่วนบล็อก M จะเป็นลักษณะโครงสร้างริบิ้นราบ (flat) มีการบิดงอได้ง่ายกว่าบล็อก G และในส่วนบล็อก MG จะมีความแข็งตึงปานกลาง

ปริมาณของบล็อกเหล่านี้แตกต่างกันไประหว่างสายหว่ายทะเลจากแต่ละแหล่งและชนิด จึงทำให้สมบัติของแอลจินแตกต่างกันไป (วรรณ, 2551)

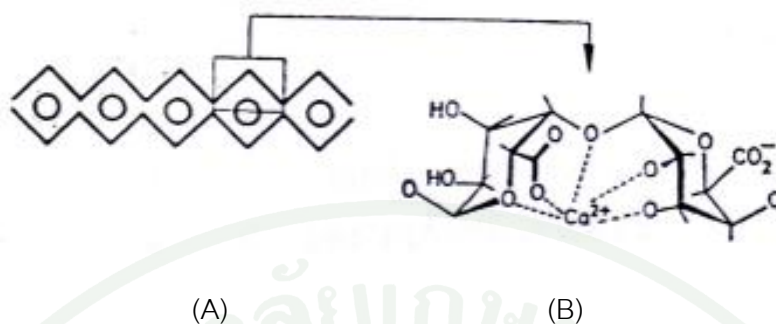


ภาพที่ 5 ลักษณะโครงสร้างของแอลจีเนต: (A) มอนิเมอร์ของแอลจีเนต (B) โครงรูปคล้ายโซ่ และ (C) การกระจายของบล็อก

ที่มา: Darget (2009)

## 8.2 การเกิดเจล

ความสำคัญของแอลจีเนตต่ออุตสาหกรรมอาหารคือเมื่อใช้ในปริมาณน้อย (0.5 - 1.0%) และมีไอออนของแคลเซียมอยู่ด้วย สามารถเป็นเจลที่มีความกรอบและแน่น และเจลจะเกิดที่อุณหภูมิห้องและเป็นเจลที่คงทนต่อความร้อน การเกิดเจลได้จะขึ้นกับส่วนบล็อก G ในสายโซ่ของแอลจิน ถ้าความยาวของบล็อก G มีขนาดเหมาะสม บล็อก G ของสายโซ่แอลจินหนึ่งจะประกบกับบล็อก G ของอีกสายโซ่หนึ่ง โดยมีไอออนของ  $\text{Ca}^{+2}$  เป็นตัวเชื่อมยึดระหว่างสาย (ภาพที่ 6) ลักษณะคล้ายกล่องวางไข่ที่จับวางซ้อนกัน ทำให้เกิดเป็นขอบเขตรอยต่อหรือ junction zones ที่เชื่อมโครงข่ายไว้ และมีน้ำอยู่ ถ้าภายในโครงสร้างแอลจินที่มีปริมาณของกรด  $\alpha$ -L-กลูโรนิก (G) สูงและมีขนาดบล็อก G ที่เหมาะสมก็จะเกิดเจลที่มีความแข็งแรง (strength) สูง



**ภาพที่ 6** การประกบกันระหว่างบริเวณพอลิกลูโรเนตโดยมีไอออนของ  $\text{Ca}^{2+}$  อยู่ในซอก  
 (A) แบบแผนผังแสดงสายโซ่ 2 สายที่มีโครงรูปแบบริบิ้นพับ โดยมี O แทน  $\text{Ca}^{2+}$   
 (B) รายละเอียดโครงรูปที่แสดง ถึงโคออร์ดิเนชันระหว่าง  $\text{Ca}^{2+}$  กับหนึ่งสายโซ่

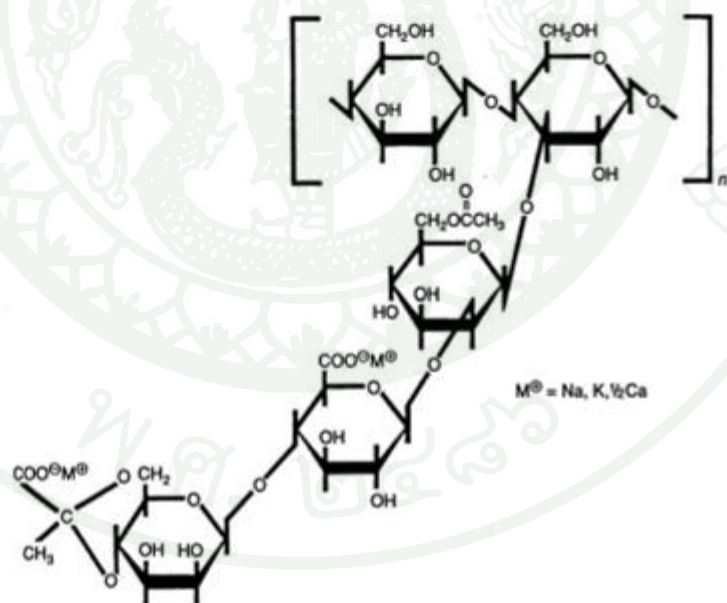
**ที่มา:** วรธนา (2551)

ถ้าไม่มีไอออนของ  $\text{Ca}^{2+}$  ในสารละลายจะไม่มีเกิดการเกิดเจล ตัวแอลจินจะทำหน้าที่เป็นเพียงสารช่วยเพิ่มความหนืดให้สารละลายเท่านั้นไอออนชนิดประจุบวก ที่มักใช้สำหรับเตรียมเจลจากแอลจินคือ  $\text{Ca}^{2+}$  วิธีผสม  $\text{Ca}^{2+}$  ลงไปในสารละลายแอลจิน จะมีผลต่อลักษณะเจลที่ได้ ถ้าผสมเร็วเกินไป เจลที่ได้จะไม่ต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกันแต่จะเกิดเจลเป็นจุด (spot gelation) ขึ้น และเจลที่เกิดจากแอลจินเป็นเจลที่ผันกลับไม่ได้เมื่อให้ความร้อน (thermoirreversible) นั่นคือทนต่อความร้อน (ไม่ละลาย) เทคนิคการเตรียมเจลจากแอลจินจึงอาจใช้เกลือของ Ca ที่ละลายยาก เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ค่อยปลดปล่อย ไอออนของ  $\text{Ca}^{2+}$  ออกมาสู่สารละลายแอลจิน เทคนิคนี้เรียกว่าการเกิดเจลภายในหรือ *in situ gelation* หรือโดยใช้ GDL (D-กลูโคโน- $\delta$ -แล็กโตน) ซึ่งเมื่อถูกไฮโดรไลซ์จะค่อยๆ ลด pH ของระบบ ดังนั้นจะทำให้เกลือของแคลเซียมละลายดีขึ้น (ภาพที่ 7)



ถ้าพิจารณาเฉพาะสายโซ่หลักจะเป็น  $\beta$ -D-กลูโคส ต่อกันด้วยพันธะ 1,4-ไกลโคซิดิก คล้ายของ เซลลูโลส แล้วมีไทแร็กคาร์ไรต์ (D-แมนโนส 2 หน่วย และกรด D-กลูคูโรนิก 1 หน่วย) เป็นสายกิ่ง จับต่อกับ D-กลูโคส ของสายโซ่หลักด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,3 ไกลโคซิดิก โดยจับเว้นสลับไป ทีละหนึ่ง D-กลูโคส (จับที่ C3)

สายกิ่งไทแร็กคาร์ไรต์ที่กล่าวมาถ้าเริ่มจากปลายสายที่ไม่ถูกรีดิวส์ (nonreducing end) จะประกอบด้วย D-แมนโนไพแรโนซิด จับ  $\beta$ -1,4 กับกรด D-กลูคูไพแรโนซิด ยูโรนิก (D-กลูคูโรนิก) ซึ่งจับ  $\beta$ -1,2 กับ D-แมนโนไพแรโนซิด และประมาณร้อยละ 50 ของไทแร็กคาร์ไรต์นั้นที่ C4 และ C6 อาจจะจับกับกรดไพรูวิก (pyruvic acid) เป็นคีทัล (ketal) ทำให้มีวงแหวน 6 เหลี่ยมปิดท้าย ที่สายกิ่งและที่ C6 ของ D-แมนโนไพแรโนซิด ที่อยู่ใกล้สายโซ่หลักจะเป็น O-แอซิทิล (ภาพที่ 8) แชนแทนกัมจึงมีขนาดโมเลกุลใหญ่ มีสายกิ่งมาก ทำให้ไฮเดรตน้ำได้ดี นั่นคือโมเลกุลน้ำสามารถเข้าไปซอลเวต (solvate) อยู่มาก แชนแทนกัมจึงเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งด้วย



ภาพที่ 8 โครงสร้างปฐมภูมิของแชนแทนกัม

ที่มา: วรรณภา (2551)

## 10. การทอด

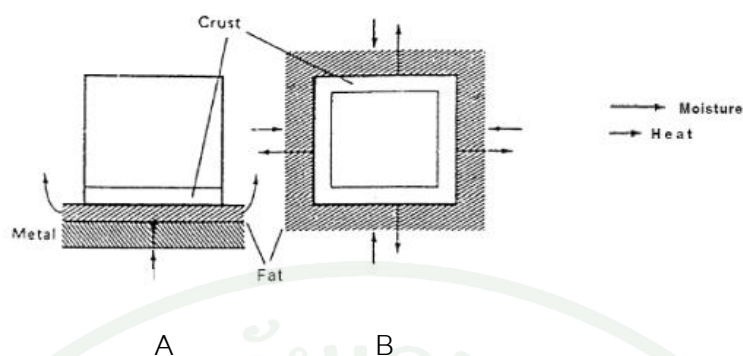
วิธีทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมี 2 วิธี ซึ่งจำแนกโดยวิธีการถ่ายเทความร้อนได้เป็นการทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) และการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) (วิไล, 2546)

### 10.1 การทอดแบบน้ำมันตื้น

การทอดแบบน้ำมันตื้นเป็นการทอดชิ้นอาหารในกระทะที่มีปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย โดยมีระดับน้ำมันในกระทะประมาณ  $\frac{1}{2}$ -1 นิ้ว น้ำมันจะไม่ท่วมอาหารทั้งชิ้น เหมาะกับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง และมีรูปทรงที่ให้พื้นผิวของอาหารสัมผัสกับผิวของกระทะได้ดี เช่น เบคอน ไช้ เบอร์เกอร์ และพายต่างๆ ความร้อนจากผิวของกระทะร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบาง ๆ ไปยังอาหาร (ภาพที่ 9A) การกระจายความร้อนไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ผิวของอาหารไม่สม่ำเสมอ (ศรีสุวรรณ, 2547) อย่างไรก็ตามวิธีทอดแบบนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวสูง ( $200-450$  วัตต์/เมตร<sup>2</sup>-องศาเซลเซียส) (วิไล, 2546)

### 10.2 การทอดแบบน้ำมันท่วม

การถ่ายเทความร้อนในการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนสู่ภายในอาหาร ผิวอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 9B) การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารทุกรูปทรง แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนเกิดการระเหยน้ำเท่ากับ  $250-300$  วัตต์/เมตร<sup>2</sup>-องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นเป็น  $800-1000$  วัตต์/เมตร<sup>2</sup>-องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดเทอบูลเอนซ์ของไอน้ำที่หนีออกจากอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการระเหยน้ำสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆ ของไอน้ำอยู่บนผิวอาหารทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (วิไล 2546)



ภาพที่ 9 การถ่ายเทมวลและความร้อนใน : การทอดแบบน้ำมันตื้น (A) และการทอดแบบน้ำมันท่วม (B)

ที่มา: Fellows (2000)

### 10.3 ขั้นตอนของกระบวนการทอดอาหาร

กระบวนการทอดสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง (ศรีสุวรรณ, 2547) ดังนี้

1. ช่วงแรกของการให้ความร้อน (initial heating) เป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ
2. ช่วงการเดือดของน้ำที่ผิวอาหาร (surface boiling) น้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าเริ่มแห้งเกิดเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ
3. ช่วงอัตราการระเหยลดลง (falling rate) เป็นช่วงที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของอาหาร มีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในชั้นอาหาร และอัตราการระเหยน้ำเริ่มช้าลง อาหารเริ่มสุก และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพเช่น เกิดเจลาตินในซี่ของแป้ง
4. จุดยุติของการเกิดฟอง (bubble end point) จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานาน น้ำระเหยได้ช้าทำให้ปริมาณฟองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. วัสดุดิบ

- 1.1 ไข่ไก่ของแม่ไก่พันธุ์ H&N Browning จากฟาร์มไก่หลวงสุวรรณวาจกสิกิจ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้ไข่เกรด A เบอร์ 3 มีอายุไม่เกิน 4 วัน หลังจากแม่ไก่วางไข่ เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
- 1.2 น้ำมันถั่วเหลืองตราอรุณ จากบริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด
- 1.3 แชนแทนกัมจากบริษัท Ingredient center Co., Ltd. (Thailand)
- 1.4 โซเดียมอัลจินेट จากบริษัท Thai Food and Chemical Co., Ltd. (Thailand)

#### 2. อุปกรณ์

- 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทอดไข่ดาวแช่เยือกแข็ง และการให้ความร้อนซ้ำ
  - 2.1.1 กระทะไฟฟ้า (ยี่ห้อ Meger รุ่น Electric Multi-Steamer ประเทศ Hongkong)
  - 2.1.2 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer ยี่ห้อ Brannan , UK)
  - 2.1.3 ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (digital thermometer) และสายเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple)
  - 2.1.4 ไมโครเวฟ (ยี่ห้อ LG รุ่น MS 2427BW)
  - 2.1.5 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ OHAUS รุ่น ARC 120, USA)
  - 2.1.6 เครื่องกวนผสม (Stirrer ยี่ห้อ Cole Parmar รุ่น 51450-series)
  - 2.1.7 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic stirrer รุ่น Multistirrer 6, Velp scientific, Italy)
  - 2.1.8 แม่พิมพ์ทอดไข่ (mold)
  - 2.1.9 ตู้เย็น (ยี่ห้อ Sharp รุ่น SJ-D55G-4G)

2.1.10 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจน (Cryogenic freezer) (Bangkok Industrial gas Co, LTD.)

2.1.11 เครื่องบันทึกอุณหภูมิและเวลา (Prescica 2002, USA) พร้อมด้วยสาย Thermocouple (T Type, Duplex Insulated, Omega engineering, INC, USA)

2.1.12 หลอดหยด (droppers)

2.1.13 magnetic bar

2.1.14 ตะแกรง

2.1.15 ฝาขาวบาง

2.1.16 ถาดพลาสติก

## 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

2.2.1 เครื่องชั่งวิเคราะห์ 4 ตำแหน่ง (Analytical balance ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Analytical Plus)

2.2.2 ไมโครปิเปต (ยี่ห้อ Pipette Man, Gilson S.A.S)

2.2.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Junior centrifuge ยี่ห้อ Gallenham, England)

2.2.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven ยี่ห้อ Memmert, Schwach, Germany)

2.2.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace ยี่ห้อ Gallenkamp รุ่น FSE 621, UK)

2.2.6 เครื่องวิเคราะห์โปรตีนแบบ Kjeldahl (ยี่ห้อ BÜCHI รุ่น 435: digestion, BÜCHI รุ่น B-316: distillation unit, Labortechnik AG, Switzerland)

2.2.7 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (ยี่ห้อ Tecator รุ่น Soxtec System HT 1043: Extraction Unit, UK)

2.2.8 โถดูดความชื้น (Desiccator)

2.2.9 thimble

2.2.10 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

2.2.11 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Crucible)

2.2.12 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer ( TA.XT. plus Texture Analyser, ยี่ห้อ Stable Micro Systems, UK)

2.2.13 กล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด (Confocal Laser Scanning Microscope, CLSM) รุ่น LSM5 PASCAL บริษัท ZEISS ประเทศ Germany

2.2.14 กล้องเลนส์วัตถุ (Stereo microscope) รุ่น SZ-PT บริษัท Olympus ประเทศ Japan

2.2.15 อุปกรณ์เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

2.2.16 อุปกรณ์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

### 3. สารเคมี

#### 3.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โปรตีน

3.1.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid,  $H_2SO_4$ : Analytical grade: Merck, Germany)

3.1.2 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate,  $K_2SO_4$ : Analytical grade: Ajax Finechem)

3.1.3 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper (II) sulfate,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ : Analytical grade: Fisher Chemical, UK)

3.1.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH: Commercial grade)

3.1.5 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate,  $Na_2CO_3$ : Commercial grade)

3.1.6 กรดบอริก (Boric acid,  $H_3BO_3$ : Analytical grade: Ajax Finechem)

3.1.7 เมทิลเรด (Methyl Red,  $C_{15}H_{15}N_3O_2$ : Analytical grade: Panreac, Panreac Quimica Sa, Spain)

3.1.8 โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol Green,  $C_{21}H_{14}Br_4O_5S$ : Analytical grade : LABCHEM, Ajax Finechem)

3.1.9 เอทานอล (Ethanol,  $C_2H_5OH$ : Analytical grade: Merck, Germany)

#### 3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ไขมัน

3.2.1 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether: Analytical grade: Fisher Chemical, UK)

### 3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างของไข่ดาวแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

#### 3.3.1 ฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยาเนท (Fluorescein isothiocyanate; FICT)

ยี่ห้อ Invitrogen

#### 3.3.2 โรดามีน บี (Rhodamine B) ยี่ห้อ Invitrogen

#### 3.3.3 Nile blue A ยี่ห้อ Sigma

### วิธีการ

#### 1. ศึกษาคุณภาพและองค์ประกอบโดยประมาณของวัตถุดิบไข่

1.1 วัดคุณภาพด้วยฮอปฟ์เกจ วิธีวัดทำโดยแต่ละครั้งสุ่มไข่มา 5 ฟองจากไข่ทั้งหมด 30 ฟองเพื่อวัดคุณภาพ และสุ่มไข่อีก 15 ฟองเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ (ในข้อ 1.2) ซึ่งการวัดคุณภาพด้วยฮอปฟ์เกจจะนำไข่ทั้ง 5 ฟองมาชั่งน้ำหนักไข่ให้รู้น้ำหนักแน่นอนที่ละฟอง แล้วหมุนเลื่อนขอบหน้าปัดตามน้ำหนักไข่ที่ชั่งได้ ต่อยไข่ค่อยๆ วางลงบนจานแบน ยกฮอปฟ์เกจยวางลงให้ปลายไมโครมิเตอร์อยู่บนส่วนบนของไข่ขาวที่ตำแหน่งห่างจากขอบไข่แดงออกมา 3/8 นิ้ว หรือกึ่งกลางระหว่างขอบไข่แดงกับขอบไข่ขาวชั้น ค่อยๆ หมุนปุ่มเลื่อนปลายไมโครมิเตอร์ลงไปพอดีจรดกับผิวไข่ขาว อ่านค่าเป็นฮอปฟ์ยูนิตจากหน้าปัด โดย

เกรด AA ค่า H.U. มากกว่า 72

เกรด A ค่า H.U. อยู่ในช่วงระหว่าง 60-71

เกรด B ค่า H.U. น้อยกว่า 60

#### 1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate Analysis) ของวัตถุดิบไข่

1.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

1.2.2 ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

1.2.3 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

1.2.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) ภาคผนวก ก

1.2.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ

## 2. ศึกษาผลของ อุณหภูมิ และเวลาในการทอดไข่ดาวแช่เยือกแข็ง

นำไข่ไก่จำนวน 30 ฟองมาตอกแล้วแยกเอาเฉพาะส่วนของไข่ขาวมารองด้วยผ้าขาวบาง 2 รอบ จากนั้นแบ่งไข่ขาวเป็นส่วนๆ ส่วนละ 35 กรัม (แยกส่วนของไข่แดงไว้ใส่ในไข่ขาวที่เทลงกระทะไฟฟ้าแล้ว) ทอดในกระทะไฟฟ้าที่มีน้ำมันท่วมไข่ โดยใช้ น้ำมันครั้งละ 1 ลิตร (ความสูงของน้ำมัน 2.2 เซนติเมตร) ต่อกไข่ที่ทอดในกระทะครั้งละ 3 ฟอง ให้ความร้อนน้ำมันจนมีอุณหภูมิ 80 และ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไข่ขาวมาเทใส่ในแม่พิมพ์ที่อยู่ในน้ำมันที่ได้ระดับอุณหภูมิที่ตั้งไว้แล้วซึ่งแม่พิมพ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร และมีความสูง 1.5 เซนติเมตร เมื่อไข่ขาวเสร็จแล้วทำการเทไข่แดงทันที แล้วทอดเป็นเวลา 5 7 และ 10 นาที ในแต่ละอุณหภูมิ บันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของไข่ขณะทอด ทอดเสร็จแล้วนำไข่มาพักตั้งบนตะแกรง ให้สะเด็ดน้ำมันเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง บรรจุกล่องพลาสติกขนาด กว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 17.8 เซนติเมตร สูง 4.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งในช่องแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่ดาวโดยใช้เทอร์โมคอปเปิลวัดอุณหภูมิใจกลางของไข่แดงจนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างถึง -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำในไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที แล้วจึงนำมาตรวจผลดังนี้

### 2.1 ลักษณะปรากฏ

นำไข่ขาวดาวที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและให้ความร้อนซ้ำมาถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล (Sony Cyber-shot DSC-W150 digital still camera)

### 2.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยวิธีการแทงทะลุ (penetration test) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer ( TA.XT. plus Texture Analyser, Stable Micro Systems, UK) ติดตั้งหัววัดชนิด P/6 (6 mm DIA CYLINDER STAINLESS) ใช้สภาวะและวิธีการ ตามวิธีในภาคผนวก ข ข้อ 1 บันทึกค่าแรงต้านการแทงทะลุผิวหน้าตัวอย่าง และระยะทางที่ตัวอย่างเปลี่ยนแปลงรูปร่างก่อนเกิดการแทงทะลุผ่านผิวหน้า

### 3. ศึกษาผลของแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและการประเมินทางประสาทสัมผัสของไข่ดาว (เฉพาะไข่ขาว) แซ่เยือกแข็ง

นำไข่ขาวที่ผ่านการกรอง ตัวอย่างละ 35 กรัม มาเติมแซนแทนกัม (Xa) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ร่วมกับโซเดียมแอลจีเนต (Al) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก โดยใช้แผนการทดลองแบบ 3 x 5 factorial in RCBD นำส่วนผสมที่ได้มาคนให้เข้ากันโดยใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาใส่ในแม่พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร และมีความสูง 1.5 เซนติเมตร ทอดในกระทะที่มีปริมาณน้ำมันสูง 1 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.5 นาที นำไข่ดาวที่ได้มาผึ่งบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำมันเป็นเวลา 20 นาที บรรจุกล่องพลาสติกขนาด กว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 17.8 เซนติเมตร สูง 4.5 เซนติเมตร แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างถึง -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำในไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปประเมินผลด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส และการประเมินทางประสาทสัมผัส ใช้ตัวอย่างไข่ขาวที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์เป็นตัวอย่างควบคุม

#### 3.1 ลักษณะปรากฏ

นำไข่ขาวดาวที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและให้ความร้อนซ้ำมาถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล (Sony Cyber-shot DSC-W150 digital still camera) โดยเปรียบเทียบร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็งของตัวอย่างจากแต่ละส่วนผสม

#### 3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ตามวิธีการในข้อ 2.2

#### 3.3 การประเมินทางประสาทสัมผัส

โดยประเมินความชอบแบบ 9-point hedonic scale ซึ่งใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึก 30 คน ที่มีอายุระหว่าง 19-60 ปี โดยประเมินความชอบของตัวอย่างไข่ดาว ระดับคะแนนอยู่ในช่วง 1-9 ซึ่ง 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด คุณลักษณะที่นำมาประเมิน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม

#### 4. การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไข่ดาวแช่เยือกแข็ง

นำไข่ขาวที่ผ่านการกรอง ตัวอย่างละ 35 กรัมมาให้ความร้อนในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆ คนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิถึง 45 องศาเซลเซียส (ใช้เวลาประมาณ 10 นาที) ผสมแทนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก และโซเดียมแอลจีเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก กับไข่ขาวปริมาณเล็กน้อย คนด้วยมือให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทลงในไข่ขาวที่ให้ความร้อนครบ 10 นาทีแล้ว จากนั้นกวนผสมต่ออีก 40 นาที แล้วเติมแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 หรือ 0.04 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก และกวนต่ออีก 10 นาที ซึ่งจะต้องควบคุมอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส ตลอดการกวนผสม นำส่วนผสมที่ได้มาทอดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.5 นาที นำไข่ดาวที่ได้มาผึ่งบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำมันเป็นเวลา 20 นาที บรรจุกล่องพลาสติกขนาด กว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 17.8 เซนติเมตร สูง 4.5 เซนติเมตรแล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิจากกลางของตัวอย่างถึง -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำในไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปประเมินผลทางด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างไข่ดาวที่เติม  $\text{Xa}+\text{Al}+\text{CaCl}_2$  ที่ ร้อยละ 0.1 + 0.2 + 0.04 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก และตรวจสอบโครงสร้างจากกล้อง stereo microscope

4.1 ลักษณะปรากฏ ตามวิธีในข้อ 3.1

4.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ตามวิธีในข้อ 3.2

4.3 การประเมินทางประสาทสัมผัส นำไข่ดาวที่เติม  $\text{Xa}+\text{Al}+\text{CaCl}_2$  ที่ร้อยละ 0.1 + 0.2 + 0.04 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก มาประเมินผลทางประสาทสัมผัสตามวิธีในข้อ 3.3

4.4 ตรวจสอบโครงสร้างจากกล้อง stereo microscope

โดยใช้มีดตัดเนื้อเยื่อตัดตัวอย่างไข่ดาว ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางผ่านไข่ขาวเป็นชั้นหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำส่วนผิวหน้าและส่วนที่ตัดขวางมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ

เลนส์วัตถุที่กำลังขยาย 40 เท่า แล้วบันทึกภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของไข่ขาวที่เดิมและไม่เดิมไฮโดรคอลลอยด์หลังการแช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำ

## 5. การเปรียบเทียบการแช่เยือกแข็งแบบช้าและการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค

นำไข่ขาวที่ผ่านการกรอง ตัวอย่างละ 35 กรัมมาให้ความร้อนในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆกวนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิถึง 45 องศาเซลเซียส (ใช้เวลาประมาณ 10 นาที) ผสมแทนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก และโซเดียมแอลจีเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก กับไข่ขาวปริมาณเล็กน้อย คนด้วยมือให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทลงในไข่ขาวที่ให้ความร้อนครบ 10 นาทีแล้วจากนั้นกวนผสมต่ออีก 40 นาที แล้วเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก และกวนต่ออีก 10 นาที ซึ่งจะต้องควบคุมอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส ตลอดการกวนผสม นำส่วนผสมที่ได้มาทอดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.5 นาที นำไข่ดาวที่ได้มาผึ่งบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำมันเป็นเวลา 20 นาที บรรจุกล่องพลาสติกขนาด กว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 17.8 เซนติเมตร สูง 4.5 เซนติเมตร นำไปแช่เยือกแข็งแบบช้าที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส หรือแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิจากกลางของตัวอย่างถึง -20 องศาเซลเซียส นำไปเก็บที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน แล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำในไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปประเมินผลด้านลักษณะปรากฏ การวัดปริมาณของเหลวที่ไหลแยกออกจากไข่ และตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของไข่ดาวก่อนการแช่เยือกแข็งและหลังการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบโครโอเจนิคหลังจากให้ความร้อนซ้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด

### 5.1 ลักษณะปรากฏ ตามวิธีในข้อ 3.1

### 5.2 การวัดปริมาณของเหลวที่ไหลแยกออกจากไข่

โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Davis (1952) โดยการวัดปริมาณของเหลวที่ไหลแยกออกจากไข่ ตามวิธีการในภาคผนวก ข ข้อ 3

### 5.3 ตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของไข่ดาวด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด

โดยนำตัวอย่างไข่ขาว มาย้อมสีโปรตีนด้วย Fluorescein isothiocyanate (FITC) ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยหยดสี 100 ไมโครลิตรบนตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาทีที่ก่อนล้างออกด้วยน้ำกลั่น จนไม่มีสีย้อมออกมา จึงย้อมต่อด้วย Rhodamine B ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อย้อมคาร์โบไฮเดรต เป็นเวลา 30 วินาที ล้างด้วยน้ำกลั่นจนไม่มีสีย้อมออกมา จึงย้อมต่อด้วย Nile blue A ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อย้อมไขมัน ซึ่ง Nile blue A จะย้อมให้มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาที่ทำการย้อมสีนาน 30 วินาที แล้วเทออก จากนั้น หยด acetic acid ความเข้มข้น ร้อยละ 1 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที (ระหว่างหยดและ รอ 30 วินาทีที่จะวางตัวอย่างบนอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส) ล้างออกด้วยน้ำกลั่น ชับน้ำให้แห้ง หยดกลีเซอรอลลงบนตัวอย่าง ปิดด้วยกระจก ตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของตัวอย่างด้วย กล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด (CLSM, model LSMS PASCAL, ZEISS, Germany) ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด Helium-Neon (He-Ne) โดย FITC ถูกกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์ ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตรและปล่อยลำแสงที่มีความยาวคลื่น 518 นาโนเมตร ส่วนโรดามิน บี ถูกกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตรและปล่อยลำแสงที่มีความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ส่วน Nile blue A ถูกกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตรและปล่อย ลำแสงที่มีความยาวคลื่น 518 นาโนเมตร

## 6. ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

โดยนำไข่ดาวที่ได้จากข้อ 5 มาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน สุ่ม ตัวอย่างที่เวลา 0, 10, 30 และ 60 วัน โดยใช้แผนการทดลองแบบ 2 x 4 factorial in RCBD นำมา ประเมินคุณภาพดังนี้ ลักษณะปรากฏ ปริมาณการแยกของของเหลว เนื้อสัมผัส และ โครงสร้างผิวหน้าและโครงสร้างตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์ stereo microscope เปรียบเทียบ คุณภาพกับตัวอย่างไข่ขาวทอดสุกที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง

6.1 ลักษณะปรากฏ ตามวิธีในข้อ 3.1

6.2 การวัดปริมาณของเหลวที่ไหลแยกออกจากไข่ ตามวิธีในข้อ 5.2

6.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ตามวิธีในข้อ 3.2

6.4 ตรวจสอบโครงสร้างจากกล้อง stereo microscope ตามวิธีในข้อ 4.4

## 7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

สมมุติฐานการทดลองคือการเติมแทนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตและแคลเซียมคลอไรด์ มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัสและการแยกของของเหลวของไข่ขาวแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำ ในการทดลองทั้งหมดทำการทดลอง 2 ซ้ำ และใช้การทดลองแบบ 3x5 factorial in RCBD ในการทดลองข้อที่ 3 และ 2x4 factorial in RCBD ในการทดลองข้อที่ 6 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) แบบ two-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลสองการทดลองที่เติมแคลเซียมคลอไรด์โดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไข่ขาวที่เติมแทนแทนกัมร้อยละ 0.1 ร่วมกับโซเดียมแอลจีเนต ร้อยละ 0.2 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.04 เทียบกับไข่ขาวที่ทอดสดใหม่ใช้การทดสอบทางสถิติแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณของเหลวที่แยกได้จากตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง, ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้าและผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคที่ 0 วันจะใช้วิธีวิเคราะห์ทางสถิติแบบ one-way ANOVA โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)

## 8. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการแปรรูป ห้องประเมินทางประสาทสัมผัสและห้องวิจัยปริญญาโทของภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

## 9. ระยะเวลาการทำการทดลอง

เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 และสิ้นสุดการวิจัยประมาณเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556



## ผลและวิจารณ์

### 1. คุณภาพทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบไซ้ไก่

ไซ้ขาวสดที่ใช้ในการทดลองมีอายุการเก็บรักษา 1-4 วัน (ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส) และเมื่อวัดคุณภาพด้วยฮอฟฟ์เกจ (Haugh guage) พบว่ามีค่า Haugh unit (H.U.) เฉลี่ยเท่ากับ 62.8 แสดงว่าเป็นไซ้ไก่เกรด A (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2557) ซึ่งเมื่อนำมาตรวจสอบองค์ประกอบโดยประมาณของวัตถุดิบไซ้ไก่ พบว่าในเนื้อไซ้ทั้งฟอง มีน้ำร้อยละ 75.6-76.3 ส่วนของแข็งทั้งหมดได้แก่ โปรตีนร้อยละ 12.7-12.8 ไขมันร้อยละ 10.1-10.7 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 0.3-0.6 และเถ้าร้อยละ 0.4-0.5 โดยผลการศึกษาองค์ประกอบโดยประมาณของวัตถุดิบไซ้ไก่ที่ได้สอดคล้องกับ Li-Chan *et al.* (1995) ดังตารางที่ 6 ซึ่งรายงานถึงองค์ประกอบโดยประมาณของไซ้ไก่ทั้งฟองหนัก 60 กรัมไม่รวมเปลือกกว่าประกอบด้วยน้ำร้อยละ 75.5 โปรตีนร้อยละ 12.8-13.4 ไขมันร้อยละ 10.5-11.8 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 0.3-1.0 และเถ้าร้อยละ 0.8-1.0

ตารางที่ 6 องค์ประกอบโดยประมาณของไซ้ไก่ไม่รวมเปลือกไซ้

น้ำหนักไซ้ (กรัม/ฟอง)	องค์ประกอบ (เปอร์เซ็นต์)					
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต <sup>1</sup>	เถ้า	ที่มา
55.6-58.2	75.6-76.3	12.7-12.8	10.7-10.1	0.6-0.3	0.4-0.5	(1)
60	75.5	12.8- 13.4	10.5-11.8	0.3-1.0	0.8-1.0	(2)

<sup>1</sup>(เปอร์เซ็นต์) คาร์โบไฮเดรต = 100- (เปอร์เซ็นต์ความชื้น + เปอร์เซ็นต์โปรตีน + เปอร์เซ็นต์ไขมัน + เปอร์เซ็นต์เถ้า)

(1) วัตถุดิบไซ้ในการทดลอง (2) Li-Chan *et al.* (1995)

## 2. การศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการทอดไข่ดาว

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไข่ดาวขณะทอด

ทอดไข่ดาวโดยตอกไข่ทั้งฟองลงในถ้วย เทไข่ลงในน้ำมันร้อนซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางความสูงของน้ำมันในกระทะให้คงที่ที่  $80 \pm 1$  องศาเซลเซียส และใช้เทอร์โมคอปเปิดติดตามอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางส่วนของไข่ขาวและจุดกึ่งกลางส่วนของไข่แดง ดังแสดงในภาพจากภาคผนวกที่ ข3 และ ข4 ตามลำดับ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 13 ไข่ขาวจะมีอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที และเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ไข่ขาวจะมีอุณหภูมิถึง 85.7 องศาเซลเซียส การที่ไข่ขาวมีอุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส เป็นเพราะขณะทอดที่ก้นกระทะมีอุณหภูมิสูงถึง 89.5 องศาเซลเซียส จึงถ่ายเทความร้อนให้ไข่ขาวที่จมอยู่กับกระทะ ซึ่งไข่ขาวมีความหนาไม่มากบริเวณใจกลางไข่ขาวที่วัดอุณหภูมิจึงอยู่ใกล้กับพื้นกระทะซึ่งมีอุณหภูมิ 85.7 องศาเซลเซียส และไข่แดงจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าไข่ขาวตลอดช่วงระยะเวลาการทอดนาน 10 นาที โดยจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25.1 องศาเซลเซียส เป็น 82.8 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ซึ่งการที่ไข่ขาวร้อนเร็วกว่าไข่แดงนั้นเนื่องจากไข่ขาวองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนกับน้ำ Li-Chan *et al.* (1995) กล่าวว่า ไข่ขาวมีน้ำประมาณร้อยละ 87.87- 89.37 และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 9.7 - 10.6 ส่วนไข่แดงองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นไขมัน (ร้อยละ 31.8-35.5) และมีโปรตีน (ร้อยละ 15.7 - 16.6) กับน้ำ (ร้อยละ 45.8 - 51.2) นอกจากนั้นไข่แดงยังมีความหนา มากกว่าไข่ขาวอีกด้วยจึงทำให้การเพิ่มอุณหภูมิของไข่แดงใช้เวลานานกว่าไข่ขาว

### 2.2 การตกลิมแข็งตัวของไข่

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการทอดไข่ในน้ำมัน โดยใช้อุณหภูมิน้ำมัน  $80 \pm 1$  องศาเซลเซียส และเวลาในการทอด 5, 7.5 และ 10 นาที พบว่าไข่ดิบจะมีลักษณะเหลว เมื่อเริ่มได้รับความร้อนไข่จะเริ่มข้นขึ้นและจะตกลิมแข็งตัว โดยในการศึกษานี้เมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดที่ 80 องศาเซลเซียส พบว่า ไข่แดงและไข่ขาวจะมีการเปลี่ยนแปลง คือ ไข่แดงจะเริ่มเกิดการแข็งตัวภายในเวลาประมาณ 5 นาที จากรายงานของ Saari *et al.* (1964) รายงานว่า low density lipoproteins (LDL) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของไข่แดงเมื่อได้รับการเหนี่ยวนำด้วยความร้อน ซึ่งอุณหภูมิในการเสถียรภาพของ LDL เริ่มที่ 70 องศาเซลเซียส (Tsutsui, 1988) และจะได้เจลที่คงที่ (stable gel) เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

(Kojima and Nakamura, 1985) ซึ่งในการศึกษาการทอดไข่ดาวในการทอดครั้งนี้พบว่าการใช้ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ไข่แดงจะเริ่มสุกและเริ่มแข็งตัวเป็นเจลดังภาพที่ 10A และเมื่อให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.5 นาที ไข่แดงจะเกิดการแข็งตัว ดังภาพที่ 10B แต่ถ้าใช้อุณหภูมิที่น้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 นาที จะทำให้ไข่แดงยังไม่แข็งตัว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่ขาวและไข่แดงขณะทอดแสดงดังภาพที่ 13 ส่วนการเกิดเจลของโปรตีนไข่ขาวเมื่อได้รับความร้อนมีรายงานดังนี้ เมื่อโปรตีนไข่ขาวได้รับความร้อนจะเกิดการคลายเกลียว หรือเกิดการเสียสภาพบางส่วนเศษส่วนของหมู่อะมิโนที่ไม่มีขั้วออกมา ทำให้มีส่วนของไฮโดรโฟบิกมากขึ้นบนโมเลกุลของโปรตีน โดยเฉพาะโวลบูมินซึ่งเป็น องค์ประกอบหลักในไข่ขาวที่มีหมู่ซัลไฟไฮดริลจึงทำให้เกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและเกิดพันธะไดซัลไฟด์ จึงจัดเป็นขั้นแรกของการเกิดโครงร่างสามมิติหรือการเกิดเจลของโปรตีน (Nishinari et al., 2000; Christ et al., 2005) จากนั้นโปรตีนที่เสียสภาพและคลายเกลียว เกิดการเกาะกลุ่มกันเนื่องจากเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกและเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลโปรตีนที่มีหมู่ซัลไฟไฮดริล สังเกตจะเห็นไข่ขาวข้นเหนียวมากขึ้น มีสีขุ่น จับตัวกันเป็นก้อน (Christ et al., 2005) เมื่อให้ความร้อน และระยะเวลาขึ้นโปรตีนจะเกิดการเกาะกลุ่มกันมากขึ้น จนกระทั่งเกิดโครงร่างสามมิติ หรือเกิดเจล (Christ et al., 2005) ซึ่งโครงสร้างสามมิตินี้สามารถ ห่อหุ้มน้ำ (Ternes, 2001) ตลอดจนสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารเอาไว้ได้ เมื่อเพิ่ม อุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อไปมีผลทำให้เกิดเจลที่แข็งมากขึ้น (Zayas, 1997) ซึ่งในการทอดครั้งนี้พบว่าเมื่อนำไข่ขาวเทลงในน้ำมันร้อน 80 องศาเซลเซียส ไข่ขาวจะเริ่มเปลี่ยนสีจากขาวใสเป็นสี ขาวขุ่นภายในเวลาประมาณ 30 วินาที ซึ่งไข่มีอุณหภูมิ 39.6 องศาเซลเซียส และจะเปลี่ยนเป็นสี ขาวขุ่นทั้งหมดในเวลาประมาณ 3 นาที ซึ่งไข่มีอุณหภูมิ 77.6 องศาเซลเซียส และเมื่อครบเวลา 5 นาที พบว่าไข่ขาวทั้งหมดจะแข็งตัว ซึ่งที่เวลา 5 นาทีจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 81.9 องศาเซลเซียส



A

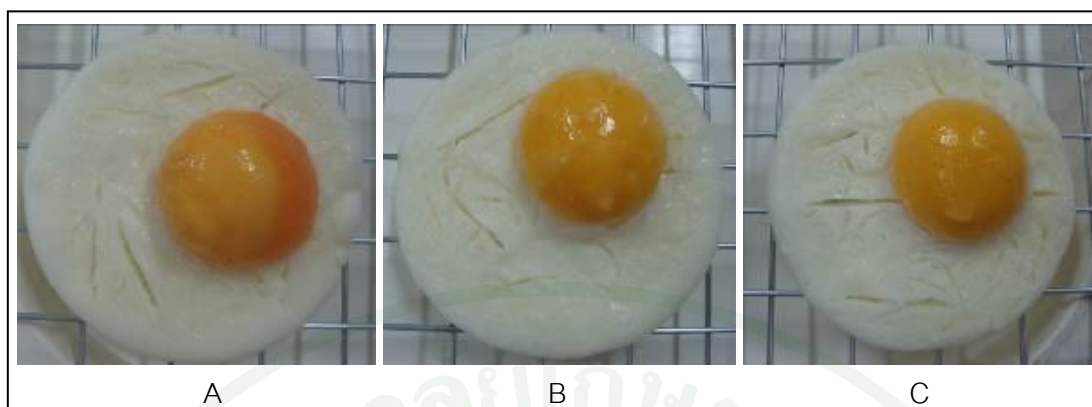


B

**ภาพที่ 10** การแข็งตัวของไข่แดงที่ทอดน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (A) และ 7.5 นาที (B)

### 2.3 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทอดไข่ดาว

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการทอดโดยใช้อุณหภูมิน้ำมัน 80 และ 95 องศาเซลเซียส และเวลาในการทอด 5, 7.5 และ 10 นาที นำไข่ดาวที่ได้มาผึ่งบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำมันเป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งในช่องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างถึง -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำในไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปประเมินผลทางด้านลักษณะปรากฏ ซึ่งพบว่า การทอดที่ 80 องศาเซลเซียส ดีกว่าที่ 95 องศาเซลเซียส จึงนำเฉพาะไข่ดาวที่ทอดที่ 80 องศาเซลเซียส ไปวัดค่าเนื้อสัมผัส โดยพบว่าเวลาในการทอดมีผลต่อค่าแรง แต่ไม่มีผลต่อค่าระยะทาง การทอดที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าเนื้อสัมผัสของไข่ขาวหลังการละลายน้ำแข็ง (ตารางที่ 6) มีค่าแรง 222 g แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทอดเป็น 7.5 และ 10 นาที พบว่าเนื้อสัมผัสของไข่ขาวหลังการละลายน้ำแข็งมีค่าแรง 166 g (ค่าต่ำที่สุด;  $p \leq 0.05$ ) และ 221 g ตามลำดับ นอกจากนี้ลักษณะปรากฏของไข่ดาวที่ผ่านการแช่แข็งแล้วไปให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที พบว่าเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในทุกการทดลอง คือ ไข่ดาวทอดน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที 7.5 นาที และ 10 นาที ดังภาพที่ 11A, 11B และ 11C ตามลำดับ การทอดไข่ที่อุณหภูมิน้ำมัน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นั้นไข่ขาวจะค่อย ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นและอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส หลังทอดนาน 4 นาที (ดังภาพที่ 13) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบในช่วง 5-10 นาที การทอดนาน 5 นาที ย่อมส่งผลให้โปรตีนไข่ขาวตกลิ้มแข็งตัวน้อยที่สุด มีการเสียน้ำออกมาน้อยที่สุด และมีการแทรกตัวของน้ำมันน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อแช่แข็งจะมีผลึกน้ำแข็งมากกว่าการทอดที่ 7.5 และ 10 นาที เมื่อนำมาให้ความร้อนซ้ำ (reheat) ในเตาไมโครเวฟโปรตีนในไข่ขาวมีการจับตัวกันเพิ่มขึ้นในทุกการทดลอง แต่ไข่ขาวทอดนาน 5 นาที ซึ่งมีน้ำมันมากที่สุด การกระจายความร้อนในเตาไมโครเวฟน่าจะดีกว่า ในตัวอย่างที่มีน้ำน้อย ซึ่งจากรายงานของ ชวน (2545) กล่าวว่า เตาไมโครเวฟนั้นทำให้อาหารสุกโดยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นๆ ต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้จะกลายเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นไข่ขาวทอดนาน 5 นาที จึงมีการกระจายความร้อนในเตาไมโครเวฟดีกว่าในตัวอย่างที่มีน้ำน้อย จึงร้อนมากกว่าโปรตีนเกิดการจับตัวกันมาก ส่งผลให้เนื้อไข่ขาวแน่นแข็งเมื่อวัดค่าเนื้อสัมผัสจึงมีค่าแรงสูง เช่นเดียวกับการทอดที่ 10 นาที ซึ่งโปรตีนตกลิ้มและจับตัวกันแน่นหนาตั้งแต่ผ่านการทอดแล้ว ดังนั้นการใช้ระยะเวลาในการทอดที่ 7.5 นาที จึงให้เนื้อสัมผัสของไข่ดาวแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำที่ใกล้เคียงกับไข่ดาวที่ทอดสดใหม่มากที่สุด จึงนำสภาวะนี้ไปใช้เพื่อพัฒนาต่อไป



ภาพที่ 11 ภาพไข่ดาวทอดน้ำมันท่วมที่สภาวะต่าง ๆ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (A), 7.5 นาที (B), 10 นาที (C) หลังการแช่เยือกแข็งและให้ความร้อนซ้ำในเตาไมโครเวฟ

ตารางที่ 7 ลักษณะเนื้อสัมผัสไข่ขาวของไข่ดาวที่ทอดน้ำมันท่วม อุณหภูมิน้ำมัน 80 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ ซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งและให้ความร้อนซ้ำ

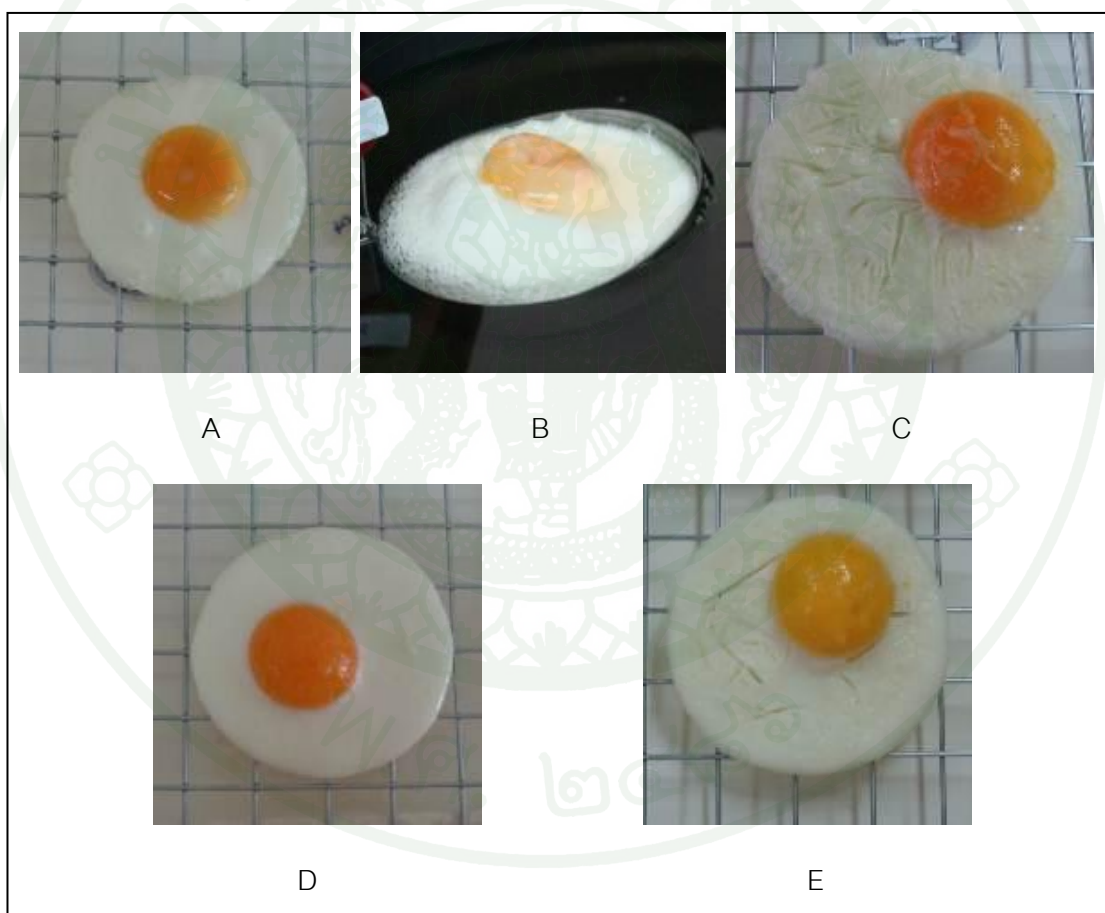
เวลา (นาที)	ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่ขาวในส่วนของไข่ขาว <sup>1</sup>	
	Force (g)	Distance (mm)
5	222.39 ± 17.30b	6.10 ± 0.40 a
7.5	166.88 ± 5.84a	5.58 ± 0.10a
10	221.20 ± 17.25b	5.82175 ± 0.17a
ไข่ขาวของไข่ดาวที่ ไม่ผ่านการแช่แข็ง <sup>2</sup>	88.70±3.47	10.60±0.08

<sup>1</sup> อักษร a, b ที่ต่างกันของค่าในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

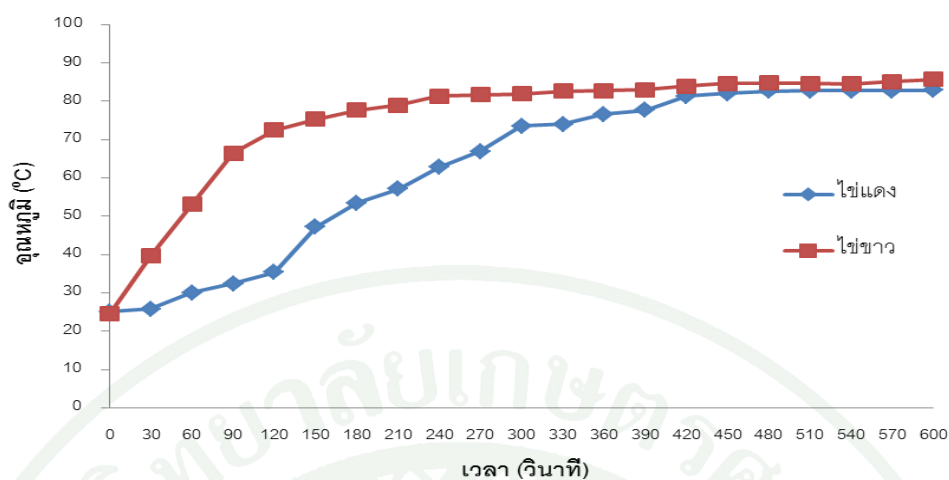
ลักษณะเนื้อสัมผัสแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยวัดจากการทดลอง 2 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

<sup>2</sup> ไข่ขาวที่ทอดสดใหม่เป็นตัวอย่างอ้างอิงซึ่งไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทอดเป็น 95 องศาเซลเซียส พบว่าไข่ดาวที่ได้จะเกิดฟองฟูที่ผิวหน้า (ภาพที่ 12A และ 12B) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในไข่ขาวซึ่งจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น ดังนั้นลักษณะปรากฏของไข่ดาวจึงไม่เรียบเนียนตั้งแต่ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง และเมื่อนำไปแช่เยือกแข็งและผ่านการให้ความร้อนซ้ำพบว่าเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ (ภาพที่ 12C) เช่นเดียวกับการทอดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 12E) แต่ที่ 80 องศาเซลเซียส ไม่พบความเป็นฟองฟูของไข่ดังภาพที่ 12D ดังนั้นจึงเลือกการให้ความร้อนในการทอดที่ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณไขมันของไข่ขาวเมื่อทอดที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.5 นาที พบว่ามีปริมาณไขมันร้อยละ 8.13 โดยน้ำหนัก



**ภาพที่ 12** ภาพไข่ดาวทอดน้ำมันท่วม ที่สภาวะต่างๆ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (A), การฟองฟูของไข่ที่ 95 องศาเซลเซียส (B), ทอดที่ 95 องศาเซลเซียสแช่แข็งและให้ความร้อนซ้ำ (C), ทอดที่ 80 องศาเซลเซียส (D) ทอดที่ 80 องศาเซลเซียสแช่แข็งและให้ความร้อนซ้ำ (E)



**ภาพที่ 13** การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของໄໝ້ຂາວและໄໝ້ແດງขณะทอดในน้ำมันร้อนซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางความสูงของน้ำมันในกระทะเท่ากับ  $80 \pm 1$  องศาเซลเซียส

### 3. ผลของแซนแทนกัมและໄໝ້เดียมแอลจินेटต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของໄໝ້ดาว (เฉพาะໄໝ້ຂາວ) แซ่เยือกแข็ง

เนื่องจากการทดลองในข้อ 2 พบว่าปัญหาการผลิตໄໝ້ดาวแซ่เยือกแข็งส่วนใหญ่เกิดในส่วนที่เป็นໄໝ້ຂາວ เช่น การเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ เนื้อสัมผัสที่มีความแข็งและเหนียว ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะส่วนของໄໝ້ຂາວมาทำการพัฒนา โดยการใช้สารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แซนแทนกัมและໄໝ້เดียมแอลจินेट โดยใช้แซนแทนกัมที่ร้อยละ 0, 0.1, 0.2 โดยน้ำหนักและໄໝ້เดียมแอลจินेटที่ร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 โดยน้ำหนัก โดยจัดการทดลองแบบ  $3 \times 5$  factorial in RCBD ซึ่งจากการศึกษาผลของแซนแทนกัมและໄໝ້เดียมแอลจินेटต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและการประเมินทางประสาทสัมผัสของໄໝ້ดาว (เฉพาะໄໝ້ຂາວ) แซ่เยือกแข็ง โดยนำໄໝ້ຂາວที่แซ่เยือกแข็งจากการทดลองแบบต่าง ๆ มาให้ความร้อนซ้ำในไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที และวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีการแทงทะลุด้วยเครื่อง Texture Analyzer ซึ่งจะวิเคราะห์ค่าแรง (แสดงถึงความแน่นแข็ง) และค่าระยะทาง (แสดงถึงความเหนียว) ที่ได้พบว่า ปริมาณแซนแทนกัม ໄໝ້เดียมแอลจินेट และปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยมีผลต่อค่าแรงของໄໝ້ดาวแซ่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งจากการที่พบปฏิสัมพันธ์ของแซนแทนกัมและໄໝ້เดียมแอลจินेटจึงนำมาสร้างกราฟดังภาพผนวกที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแซนแทนกัมอย่างเดียวมีแนวโน้มจะทำให้ค่าแรงเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณໄໝ້เดียมแอลจินेटอย่างเดียวมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าแรงลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณแซนแทนกัมและໄໝ້เดียมแอลจินेट

ร่วมกันจะมีแนวโน้มทำให้ค่าแรงลดลง (ภาพผนวกที่ 1) ซึ่งการที่เติมแซนแทนกัมแล้วทำให้ค่าแรงเพิ่มขึ้นอธิบายได้ว่าอาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของแซนแทนกัมกับโปรตีนทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นและการใส่โซเดียมแอลจีเนตร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักทำให้มีค่าแรงสูงขึ้นเนื่องจากความมีประจุของโมเลกุลของแอลจีเนตและโปรตีนไขขาวจึงอาจเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลทั้งสองได้ดังรายงานของ Ghosh and Bandyopadhyay (2014) รายงานว่า ประจุไฟฟ้าบนโมเลกุลของโปรตีนกับประจุไฟฟ้าบนสายพอลิแซ็กคาไรด์จะมีแรงดึงดูดทางไฟฟ้าซึ่งกันและกัน นอกจากนั้นหมู่คาร์บอกซิลบนสายพอลิแซ็กคาไรด์และหมู่อะมิโนบนสายของโปรตีนยังเป็นแหล่งของพันธะไฮโดรเจนระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองอีกด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมอัลจีเนตมากขึ้น (ร้อยละ 0.2-0.6 โดยน้ำหนัก) ค่าแรงกลับลดลงดังภาพผนวกที่ 1 นั้นอาจเกิดจากเมื่อใส่โซเดียมอัลจีเนตมากเกินไป โซเดียมอัลจีเนตอาจไปขัดขวางความต่อเนื่องของการเกิดโปรตีนเจลไขขาวทำให้โปรตีนเจลมีความแข็งแรงต่ำลง เมื่อนำไปแช่เยือกแข็งและให้ความร้อนซ้ำจึงทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มทำให้มีค่าแรงน้อย และการที่ใส่แซนแทนกัมร่วมกับโซเดียมแอลจีเนตแล้วมีแนวโน้มทำให้ค่าแรงลดลงนั้นอาจเกิดจากอันตรกิริยาของแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตดังรายงานของ Pongjanyakul และ Puttipipatkachorn (2007) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของอันตรกิริยาระหว่างแซนแทนกัมกับโซเดียมแอลจีเนตด้วยพันธะไฮโดรเจนที่บริเวณหมู่ไฮดรอกซิลของแซนแทนกัมกับหมู่คาร์บอกซิลของโซเดียมแอลจีเนต ซึ่งการที่แซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตเกิดพันธะระหว่างกันทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่และขัดขวางความต่อเนื่องของการเกิดโปรตีนเจลของไขขาว จากตารางที่ 8 พบว่าไขดาวแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำที่เติมแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนต ( $Xa + Al$ ) ที่ระดับร้อยละ 0+0.4, 0+0.6, 0.1+0.2, 0.1+0.4 และ 0.1+0.6 (โดยน้ำหนัก + โดยน้ำหนัก) มีค่าแรงน้อยที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าแรงอยู่ในช่วง 85.97 g ถึง 109.54 g ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับไขดาวที่ทอดสดใหม่ที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (88.70 g) และมีข้อสังเกตว่าตัวอย่างที่มีค่าแรงสูงกว่า 109.54 g จะพบปริมาณผลึกน้ำแข็งมาก นอกจากนั้นพบว่าปริมาณแซนแทนกัม โซเดียมอัลจีเนต และปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยไม่มีผล ( $p > 0.05$ ) ต่อค่าระยะทางของไขดาวแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำ (ตารางผนวกที่ 2) ดังนั้นจึงใช้ค่าแรงในการตัดสินใจเลือกปริมาณแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตเพื่อไปทดสอบทางประสาทสัมผัส

**ตารางที่ 8** ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่ขาวที่ทอดสดใหม่และไข่ขาวแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำ

ไฮโดรคอลลอยด์		เนื้อสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็ง <sup>1</sup>	
Xa (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	Al (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	แรง (g)	ระยะทาง (mm)
0.0	0.0	144.63±3.00ef	8.31±1.30a
0.0	0.1	216.50±15.39g	9.24±1.71a
0.0	0.2	165.62±0.66f	8.90±1.74a
0.0	0.4	109.54±22.84abcd	7.93±1.62a
0.0	0.6	104.13±1.83ab	7.89±1.37a
0.1	0.0	156.25±8.84ef	8.82±1.87a
0.1	0.1	147.55±2.90ef	8.51±1.79a
0.1	0.2	106.97±21.87abc	8.79±0.19a
0.1	0.4	109.80±7.56abcd	8.73±0.30a
0.1	0.6	85.97±13.87a	8.56±0.09a
0.2	0.0	162.45±10.51ef	9.22±2.73a
0.2	0.1	139.79±11.78def	9.27±0.07a
0.2	0.2	136.28±13.75cdef	8.78±3.03a
0.2	0.4	129.28±5.01bcde	9.90±1.01a
0.2	0.6	128.77±22.10bcde	8.44±2.81a
ไข่ขาวที่ทอดสดใหม่ซึ่งไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ <sup>2</sup>		88.70±3.47	10.60±0.08

<sup>1</sup> อักษร a, b..f ที่ต่างกันของค่าในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2</sup> ไข่ขาวที่ทอดสดใหม่ซึ่งไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์เป็นตัวอย่างอ้างอิงซึ่งไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ดังนั้นจากค่าแรงจูงใจเลือกส่วนผสมเติม  $Xa+AI$  ที่ระดับร้อยละ 0+0.4, 0+0.6, 0.1+0.2, 0.1+0.4, 0.1+0.6 โดยน้ำหนัก ในการทำไข่ดาวแช่เยือกแข็งเพื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ทดสอบลักษณะปรากฏ ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ไข่ดาวแช่เยือกแข็ง พบว่าคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏของไข่ดาวแช่แข็งที่เติม  $Xa+AI$  ที่ระดับร้อยละ 0+0.4, 0+0.6, 0.1+0.2, 0.1+0.4, 0.1+0.6 โดยน้ำหนัก หลังการให้ความร้อนซ้ำได้คะแนนความชอบ 4.88, 5.28, 5.48, 5.48, 5.32 คะแนนตามลำดับ คุณลักษณะทางด้านกลิ่นและรสชาติของไข่ดาวทุกตัวอย่าง ได้คะแนนความชอบประมาณ 5.0 คะแนน ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ และ ความชอบโดยรวมของไข่ดาวทุกตัวอย่าง ได้คะแนนความชอบน้อยกว่า 5.0 (ตารางที่ 9) แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบยังไม่ชอบผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ซึ่งจากการแสดงความคิดเห็นของผู้ทดสอบที่ไม่ชอบผลิตภัณฑ์นั้นเนื่องจากไม่ชอบลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ที่ยังไม่ค่อยมีความแน่นเนื้อและไม่ค่อยมีความยืดหยุ่นอย่างไรก็ตามลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ได้รับคะแนนมากกว่า 5 คะแนน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก แชนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตสามารถลดขนาดการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ของผลิตภัณฑ์ไข่ดาวแช่เยือกแข็ง Monsanto (2000) รายงานว่า การเติมแชนแทนกัมในผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง เช่น whipped topping, sauces, gravies และ batters สามารถช่วยเรื่องความคงตัว ควบคุมการแยกตัวของของเหลวหลังการละลายน้ำแข็ง (syneresis) และช่วยให้ความหนืดคงที่ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน freeze-thaw cycles และ การให้ความร้อน Nussinovitch (1997) รายงานว่า แอลจีเนตสามารถนำมาใช้เพื่อขัดขวางและควบคุมการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมทำให้มีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน ซึ่งการใช้โซเดียมแอลจีเนตเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.1- 0.5) สามารถช่วยให้ไอศกรีมมีความคงตัว ดังนั้นสารที่ช่วยให้ความคงตัวซึ่งมีสมบัติการจับกับน้ำ (water holding properties) มีความสามารถในการกระจายตัวดีจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดี สำหรับคุณลักษณะทางด้านกลิ่นและรสชาติของไข่ดาวหลังการละลายน้ำแข็งนั้นมีคะแนนอยู่ในระดับคะแนนประมาณ 5 ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบมีความชอบในระดับเฉยๆ ต่อผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมแชนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตในไข่ดาวไม่ได้ส่งผลเสียต่อกลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ยังคงลักษณะกลิ่นและรสชาติของไข่ดาวปกติ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้เลือกการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในระดับต่ำสุด คือ  $Xa+AI$  ที่ร้อยละ 0.1+0.2 โดยน้ำหนัก เพื่อนำไปปรับปรุงเนื้อสัมผัสต่อไป

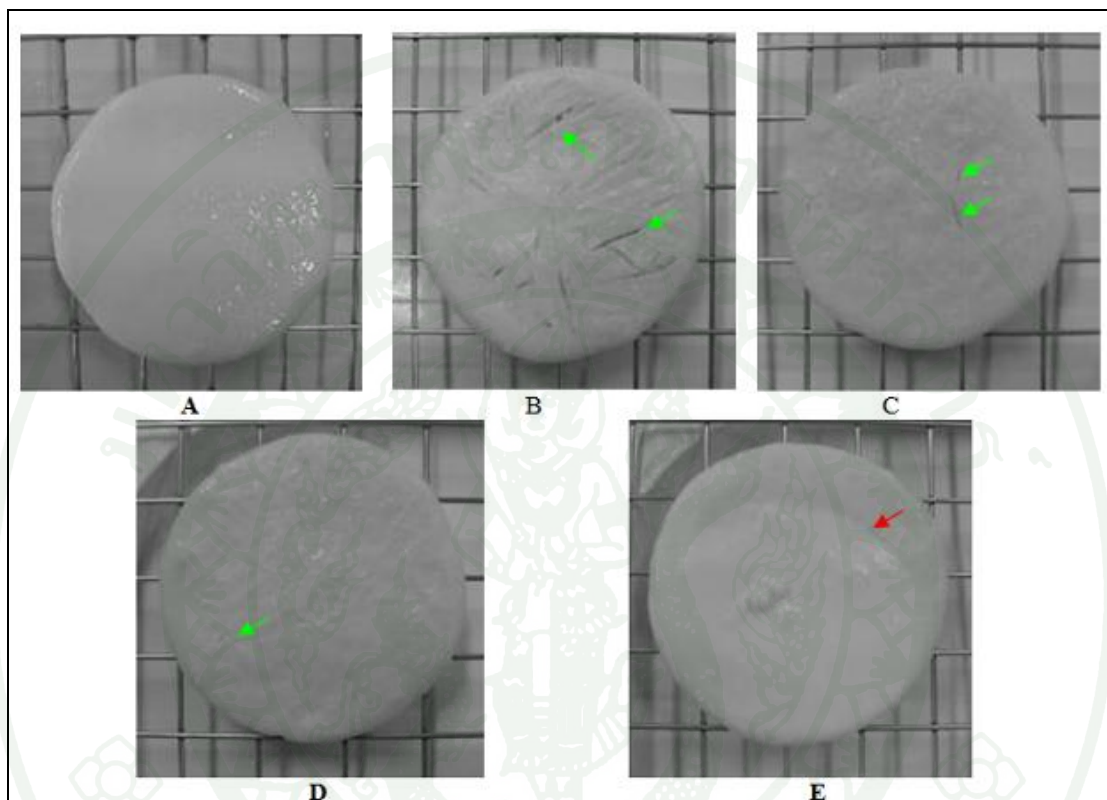
**ตารางที่ 9** คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็งที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ให้ความร้อน  
ผลิตภัณฑ์ก่อนทดสอบ

ไฮโดรคอลลอยด์		คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส*					
Xa % (w/w)	Al % (w/w)	ลักษณะ ปรากฏ	ความ ยืดหยุ่น	ความ แน่นเนื้อ	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบ โดยรวม
0.0	0.4	4.88±1.56	4.12±1.74	4.28±1.88	5.68±1.34	5.6±1.91	4.66±1.64
0.0	0.6	5.28±1.34	4.12±1.30	3.84±1.46	5.64±1.41	5.56±1.64	4.68±1.52
0.1	0.2	5.48±1.53	4.68±1.35	5.00±1.53	5.72±1.40	5.76±1.64	4.80±1.35
0.1	0.4	5.48±1.59	4.16±1.65	4.12±1.48	5.40±1.44	5.44±1.85	4.76±1.30
0.1	0.6	5.32±1.31	4.16±1.60	3.97±1.78	5.60±1.63	5.28±1.81	4.48±1.61

\* 1=ไม่ชอบมากที่สุด 5=เฉยๆ 9=ชอบมากที่สุด

ไข่ดาว (เฉพาะไข่ขาว) แช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการทั้งทางด้านเนื้อสัมผัส การยุบตัวของโครงสร้างเจลไข่ขาว และการสูญเสียน้ำ ซึ่งเป็นผลให้เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่ต้องการดังภาพที่ 14 B, C, D การนำไข่ขาวมาเติมไฮโดรคอลลอยด์ชนิดแซนแทนกัม (ร้อยละ 0 - 0.2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) หรือโซเดียมแอลจีเนต (ร้อยละ 0 - 0.6 โดยน้ำหนัก) ที่ระดับต่างๆ ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่ดาวต่างกัน โดยตัวอย่างที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 14B) พบร่องรอยของผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และมีจำนวนมากที่สุดในขณะที่การเติมแซนแทนกัมร่วมกับโซเดียมแอลจีเนตจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคุณภาพที่ดีขึ้นคือร่องรอยของผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่หายไป (ภาพที่ 14C, D, E) การเสียหายของเจลจากการแช่เยือกแข็งเกิดจากการที่น้ำเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งโดยเกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่ที่ทำให้โครงสร้างเจลเสียหายเกิดการสูญเสียน้ำเมื่อมีการทำละลายน้ำแข็ง ความเสียหายซึ่งเกิดจากการแช่เยือกแข็งเกิดจากผลึกน้ำแข็งและการสูญเสียน้ำที่กักเก็บอยู่ภายในเจลซึ่งการลดความเสียหายทำได้โดยการลดขนาดของผลึกน้ำแข็ง (Dawson 1996) ไข่ขาวซึ่งเติมแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตที่ความเข้มข้นรวมเท่ากับหรือสูงกว่าร้อยละ 0.1+0.2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก พบว่าจะมีลักษณะคล้ายกับไข่ที่ทอดสดใหม่ (ภาพที่ 14A) แสดงว่าไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของเจลไข่ขาว Dawson (1996) รายงานว่า การลดการเกิดการแยกตัวของน้ำจากเจล (syneresis) ทำ

ได้โดยการเติมคาร์โบไฮเดรตที่สามารถจับกับน้ำ (water-binding carbohydrates) เช่น แอลจิน คาราจีแนน อาการ์ และ สตาร์ช ที่ระดับร้อยละ 2 - 4 อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ยังพบการยุบตัวของโครงสร้างเจลไข่ขาวซึ่งจะต้องพัฒนาให้ดีขึ้น

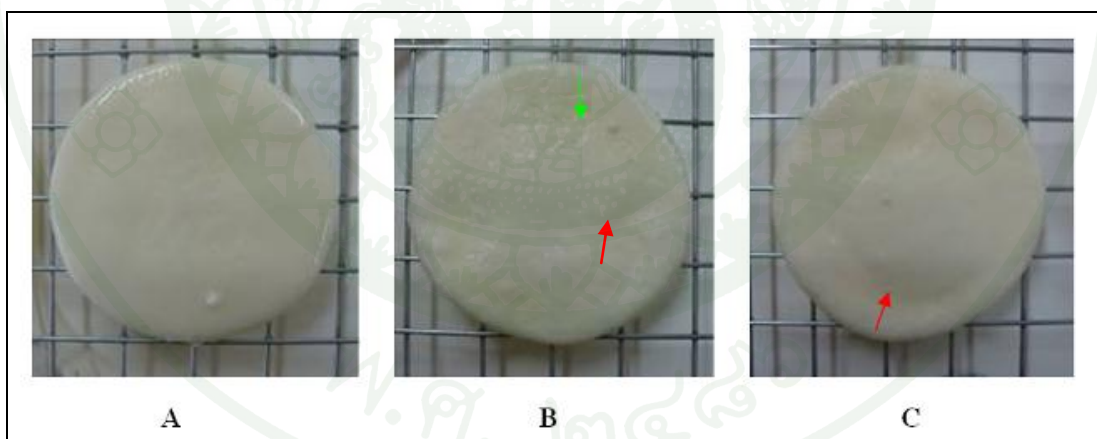


**ภาพที่ 14** ลักษณะปรากฏของไข่ดาว (เฉพาะไข่ขาว) ไข่ดาวที่ทอดใหม่ซึ่งไม่เติมโดรคอลลอยด์ (A) และไข่ขาวแช่เยือกแข็งที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณต่าง ๆ กันหลังการให้ความร้อนซ้ำ, Xa ร้อยละ 0 + Al ร้อยละ 0 (B), Xa ร้อยละ 0 + Al ร้อยละ 0.1 (C), Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.1 (D), Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 (E) ลูกศรสีเขียวแสดงร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็ง ลูกศรสีแดงแสดงการยุบตัวของโครงสร้างเจลไข่ขาว

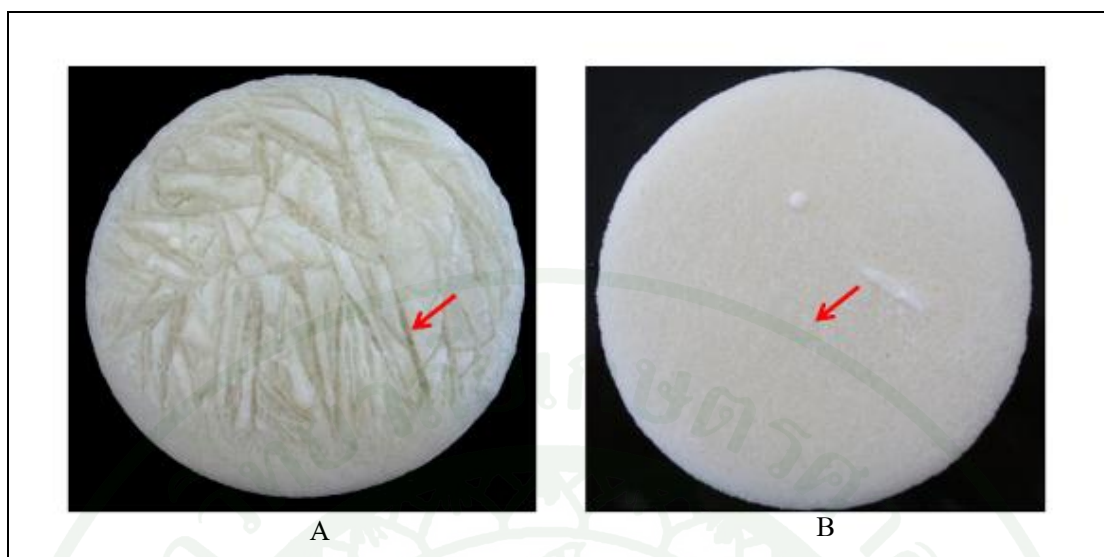
#### 4. การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็ง

การเติมไฮโดรคอลลอยด์ผสมในไข่ขาว ต้องการให้ไฮโดรคอลลอยด์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากหากการกระจายตัวไม่ดีจะทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของไฮโดรคอลลอยด์ ในระหว่างการผสมซึ่งจะทำให้เกิดเป็นก้อนที่พองตัวซึ่งบางครั้งเรียกว่า ตาปลา (fish eyes) ซึ่งการรวมกลุ่มเป็นก้อนนี้จะป้องกันไม่ให้ไฮโดรคอลลอยด์จับกับน้ำได้อย่างสมบูรณ์ (Sworn, 2009) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เติมไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งเป็นผงแห้ง ได้แก่ แชนแทนกัมและไซเดียมแอลจีเนต ในไข่ขาว กวนผสมที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) กวนไข่ขาวจนกระทั่งสังเกตเห็นการแยกส่วน (แบบที่ 1) เปรียบเทียบกับการเติมโดยผสมกับไข่ขาวแบ่งส่วนประมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อแชนแทนกัม 0.1 กรัมและไซเดียมแอลจีเนต 0.2 กรัม กวนให้กระจายตัวในไข่ขาว แล้วจึงผสมในตัวอย่างไข่ขาวที่เหลือซึ่งให้ความร้อนที่ 45 องศาเซลเซียส กวนจนเข้ากัน (แบบที่ 2) จากผลการทดลองพบว่า การผสมแบบที่ 1 ใช้เวลา 3 ชั่วโมงจึงผสมกันดี ในขณะที่แบบที่ 2 ใช้เวลา 40 นาที เท่านั้น ซึ่งการกวนแบบที่ 1 นั้นใช้เวลานานเกินไปอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในไข่ขาวได้ เช่น การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนไข่ขาวเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในไข่ และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนบางตัวเนื่องจากแรงที่ใช้ในการกวนผสม เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลต่อการเกิดโปรตีนเจลของไข่ขาวโดย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างของโปรตีนเจลไข่ขาวไม่แข็งแรง แต่การให้ความร้อนที่ 45 องศาเซลเซียส ทำให้โปรตีนมีการคลายเกลียว โปรตีนมีการกระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น Ferry (1948) รายงานว่า การที่โมเลกุลโปรตีนมีการคลายเกลียวจะเพิ่มขนาดของโมเลกุลและจะเพิ่มความเร็วในการกระจายตัว ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อทำการให้ความร้อนที่ 45 องศาเซลเซียส แล้วจึงเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่กวนผสมกับไข่ขาวปริมาณเล็กน้อย ทำให้ลดระยะเวลาการกวนผสมลงได้จาก 3 ชั่วโมงเหลือ 40 นาที เท่านั้น ดังนั้นจึงเลือกการกวนผสมในแบบที่ 2 นอกจากการเปลี่ยนแปลงการกวนผสมแล้วยังมีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไปเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไข่ขาวหลังการแช่เยือกแข็งและการให้ความร้อนซ้ำโดยเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 หรือ 0.04 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ยังกวนและให้ความร้อนอยู่ซึ่งการผสมแบบใหม่นี้ไข่ขาวจะเป็นเนื้อเดียวกับแคลเซียมคลอไรด์ ภายในเวลา 10 นาที ซึ่งแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยในการเกิดเจลของไซเดียมแอลจีเนต (Moe et al. 1995) จากการทดลองนี้พบว่าไข่ดาว (เฉพาะไข่ขาว) แช่เยือกแข็งที่เติม  $Xa$  ร้อยละ 0.1,  $Al$  ร้อยละ 0.2 และ  $CaCl_2$  ที่ร้อยละ 0.02-0.04 และผ่านการให้ความร้อนจะมีค่าแรงต้านการแทงทะลุสูงถึง 179g (ตารางที่ 10) ซึ่งการที่ค่าแรงสูงนี้อาจเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างไอออนของแคลเซียม ( $Ca^{2+}$ ) จากแคลเซียมคลอไรด์กับออกซิเจนของไซเดียมแอลจีเนต (วรรณา, 2551) ทำให้แอลจีเนต

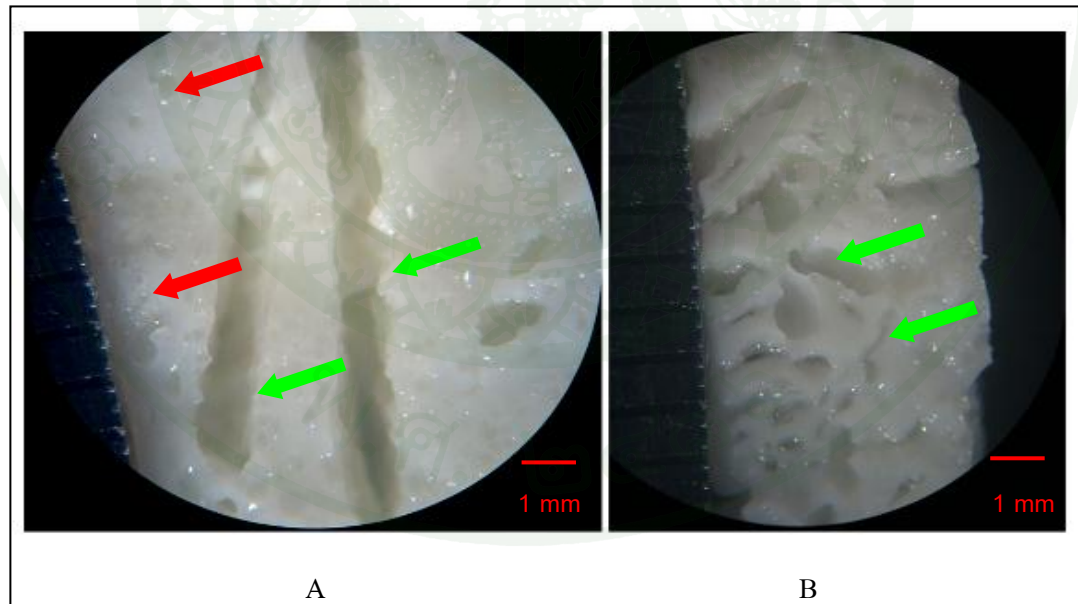
เกิดเจลจึงส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งแรงมากขึ้นทำให้ค่าแรงเพิ่มขึ้น และในตัวอย่างที่เติม  $\text{CaCl}_2$  ที่ร้อยละ 0.02 พบว่า มีร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็งเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเติม  $\text{CaCl}_2$  ที่ร้อยละ 0.04 ซึ่งไม่มีร่องรอยของผลึกน้ำแข็ง ดังภาพที่ 15 ดังนั้นจึงเลือกการเติม  $\text{CaCl}_2$  ที่ร้อยละ 0.04 เพื่อนำตัวอย่างไปประเมินทางประสาทสัมผัสและเมื่อเปรียบเทียบขนาดของผลึกน้ำแข็งของ ไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่เติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 กับไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าผลึกน้ำแข็งของไข่ดาวที่เติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 มีขนาดเล็กกว่ามากดังภาพที่ 16 และเมื่อนำไปศึกษาภาพบริเวณผิวหน้าและภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์ stereo microscope พบว่าไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์มีร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่เห็นได้จากผิวหน้าและภาพตัดขวางของตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 17A และ 17B แต่ไข่ขาวที่เติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 ไม่พบร่องรอยของผลึกน้ำแข็งที่ผิวหน้า (ภาพที่ 18A) และจากภาพตัดขวางของตัวอย่าง (ภาพที่ 18B) พบร่องรอยของการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่าไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ส่วนผิวหน้าของตัวอย่างพบเฉพาะช่องว่างของฟองอากาศเท่านั้นดังภาพที่ 18A



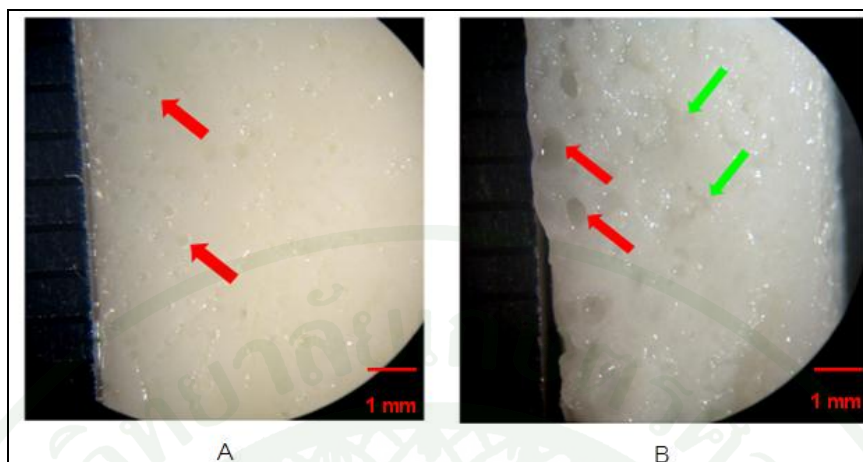
**ภาพที่ 15** ไข่ขาวทอดที่เติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.02 หรือ  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 ก่อนและหลังการแช่แข็ง; (A) ก่อนการแช่แข็ง (B) หลังการแช่แข็งและการให้ความร้อนซ้ำ: Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.02 และ (C) Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 ลูกศรสีแดงแสดงร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็งและลูกศรสีแดงแสดงการยุบตัวของโครงสร้าง



ภาพที่ 16 ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลของไขขาวทอดแช่เยือกแข็ง; (A) ผลึกน้ำแข็งบนไขขาวทอดแช่เยือกแข็งที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (B) ที่เติม Xa ร้อยละ 0.1+ Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 กลูโครสีแดงแสดงผลึกน้ำแข็งบนผิวหน้าของตัวอย่าง



ภาพที่ 17 ภาพจากกล้อง Stereo Microscope ของไขขาวที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ทอดแช่เยือกแข็งและผ่านการให้ความร้อนซ้ำ; (A) ภาพผิวหน้า (B) ภาพตัดขวาง กลูโครสีเขียวแสดงร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็ง กลูโครสีแดงแสดงช่องว่างจากฟองอากาศ



**ภาพที่ 18** ภาพจากกล้อง Stereo Microscope ของไขขาวทอดแช่เยือกแข็งที่เติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 หลังให้ความร้อนซ้ำ; (A) ภาพผิวหน้าและ (B) ภาพตัดขวาง ลูกศรสีแดงแสดงร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็ง ลูกศรสีเขียวแสดงช่องว่างจากฟองอากาศ

จากผลการประเมินความชอบผลิตภัณฑ์ด้านลักษณะปรากฏ ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส (ไม่ถามความเห็นอื่นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์) แล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการทดสอบค่าเฉลี่ยด้วย t-test พบว่า ไขขาวแช่เยือกแข็งที่เติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก หลังการแช่เยือกแข็งและให้ความร้อนซ้ำมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวมที่ไม่แตกต่างกับไขขาวที่ทอดสดใหม่ ( $p > 0.05$ ) แต่ความยืดหยุ่นและความแน่นเนื้อ แตกต่างจากไขขาวที่ทอดสดใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 11 อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่นและความแน่นเนื้ออยู่ที่ระดับ 5 คะแนน ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่อยู่ในเกณฑ์เฉยๆ แสดงให้เห็นว่าการเติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก  $\text{CaCl}_2$  สามารถทำให้แอลจินตเกิดเจลชนิดที่ไม่ผันกลับ ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของไขขาวทอดแช่เยือกแข็งมีความแน่นเนื้อและลดลักษณะที่เป็นฟองน้ำมีรูพรุนจำนวนมากที่อยู่ภายในโครงสร้างของเจลไขขาว Zaritzky (2012) รายงานว่าโครงสร้างฟองน้ำ (spongy structure) เป็นลักษณะที่เกิดจากการเสียน้ำออกไปเนื่องจากการแช่เยือกแข็งอย่างช้าซึ่งการเติมแคลเซียมคลอไรด์ ลงไปเพื่อช่วยการเกิดเจลของไซเดียมแอลจินตจะช่วยลดลักษณะดังกล่าว โดย Moe *et al.* (1995) รายงานว่าเมื่อเติม

แคลเซียมคอลไรต์ในสารละลายโซเดียมแอลจินเตตจะทำให้โซเดียมแอลจินเตตเกิดเจลหรือตกตะกอนในทันที ซึ่งมีการใช้โซเดียมแอลจินเตตร่วมกับแคลเซียมไอออนเพื่อรักษาเนื้อสัมผัสที่ดีของผลิตภัณฑ์ เช่น restructured meat, restructured chicken และ restructured salmon เป็นต้น (Challen and Moorhouse, 2011) ในการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์โซเดียมแอลจินเตตที่เติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 + CaCl<sub>2</sub> ร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ได้คะแนนความชอบโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย จากการทดสอบด้วยประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกจำนวน 30 คน

**ตารางที่ 10** ลักษณะเนื้อสัมผัสหลังการให้ความร้อนซ้ำของผลิตภัณฑ์โซเดียมแอลจินเตตที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับ CaCl<sub>2</sub> ที่ระดับต่างๆ

ไฮโดรคอลลอยด์		CaCl <sub>2</sub> %(w/w)	เนื้อสัมผัสของโซเดียมแอลจินเตตที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับ CaCl <sub>2</sub> ที่ระดับต่างๆ	
Xa %(w/w)	Al %(w/w)		แรง (g)	ระยะทาง (mm)
0.1	0.2	0.02	179.77±1.39 a	8.38±0.50 a
0.1	0.2	0.04	179.64±17.29 a	8.21±0.15 a

<sup>1</sup> อักษร a, b ที่ต่างกันของค่าในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 11** คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโซเดียมแอลจินเตตที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำ

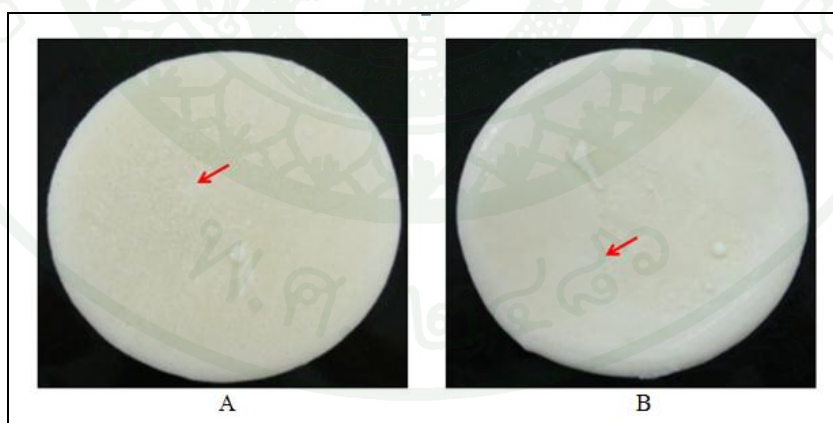
ไฮโดรคอลลอยด์		CaCl <sub>2</sub> %(w/w)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส <sup>1</sup>					
Xa %(w/w)	Al %(w/w)		ลักษณะปรากฏ	ความยืดหยุ่น	ความแน่นเนื้อ	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
0.1	0.2	0.04	6.57±1.48a	5.03±1.73a	5.37±1.90a	6.67±1.42a	6.40±1.57a	6.07±1.57a
โซเดียมแอลจินเตตที่ทดสอบใหม่			7.56±1.19a	7.72±1.02b	7.72±0.98b	6.52±1.45a	7.08±1.32a	7.64±0.95a

<sup>1</sup> อักษร a, b ที่ต่างกันของค่าในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

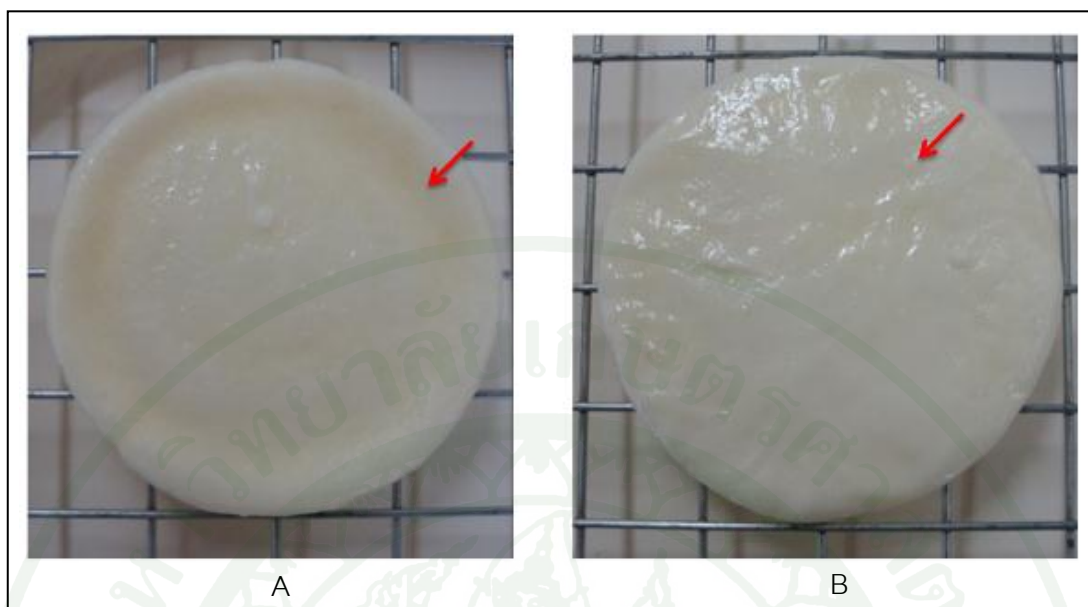
ความหมายของระดับคะแนน 1=ไม่ชอบมากที่สุด 5=เฉยๆ 9=ชอบมากที่สุด

## 5. การเปรียบเทียบการแช่เยือกแข็งแบบช้าและการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

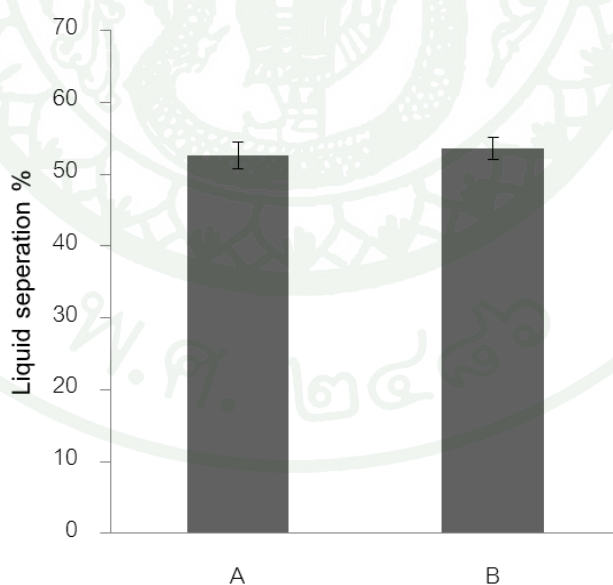
เตรียมไข่ขาวทอดสุกตามวิธีการที่ให้ผลดีที่สุดจากการศึกษาในข้อ 4 นำมาแช่เยือกแข็ง 2 แบบคือการแช่เยือกแข็งแบบช้าโดยแช่ในช่องแช่เยือกแข็งของตู้เย็น (- 25 องศาเซลเซียส) และการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส) จนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางอาหารเท่ากับ -20 องศาเซลเซียส นำไปที่เก็บที่ - 25 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน ประเมินคุณภาพ ด้านลักษณะปรากฏ การแยกตัวของของเหลว โครงสร้างพื้นผิวด้านบนและโครงสร้างตัดขวาง พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค ปรากฏผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า ดังภาพที่ 19 เมื่อทำการให้ความร้อนซ้ำ พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค สามารถลดปริมาณการยุบตัวของโครงสร้างโปรตีนเจลไข่ขาวได้ ดังภาพที่ 20 แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของเหลวที่แยกได้ (ตามวิธีการในภาคผนวก ข ข้อ3) จากการนำไข่ขาวแช่เยือกแข็งแบบช้าและการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคซึ่งไม่ได้ให้ความร้อนซ้ำมาทำการเหวี่ยงแยกของเหลว จะพบปริมาณของเหลวที่แยกได้ใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 50 ดังภาพที่ 21 แสดงว่าผลของการแช่เยือกแข็งที่แตกต่างกันจะเห็นไม่ชัดเจนในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเก็บรักษา 10 วัน อย่างไรก็ตามสามารถชี้ได้ว่าการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคมีข้อดีคือ ช่วยลดการยุบตัวของโครงสร้างเจลไข่ขาวหลังการให้ความร้อนซ้ำในเตาไมโครเวฟ



**ภาพที่ 19** ภาพถ่ายด้านบนผิวหน้าของไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็ง (A) แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส) และ (B) การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส) หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน ลูกศรสีแดงชี้ร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็ง



ภาพที่ 20 ไข่ขาว ทอดแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำ; (A) จากการแช่เยือกแข็งแบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส) (B) การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส) ลูกศรสีแดงชี้การยุบตัวของโครงสร้าง



ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบการแยกตัวของของเหลวจากไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งที่เก็บรักษาที่ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน (A) การแช่เยือกแข็งแบบช้า (B) การแช่เยือกแข็งแบบแข็งแบบไครโอเจนิค

การตรวจสอบโครงสร้างละเอียดด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราดของตัวอย่างไข่ขาวทอดสุกแช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำโดยนำตัวอย่างมาข้อมสีสามสีต่อเนื่องกัน โดยใช้สีข้อมตามลำดับคือ ฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยาเนต โรดามีนบี และไนล์บลูเอ

จากรายงานของ Sahin and Sumnu (2009) รายงานว่าการข้อมสี biopolymers เช่น คาร์โบไฮเดรตจะใช้สีข้อม ฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยาเนต (FITC) โปรตีนใช้โรดามีน บี และไขมันใช้ไนล์บลู Lamprecht *et al.* (2000) แสดงถึงการติดสีของโปรตีนที่สายโพลีเปปไทด์ซึ่งใช้สีข้อม FITC และ โรดามีนไอโซไทโอไซยาเนต ซึ่งสีทั้งสองจะติดที่หมู่อะมิโนของโปรตีน แต่จากรายงานของ Tromp *et al.* (2003) รายงานว่า FITC และโรดามีนบี ข้อมติดโปรตีนโดยสีทั้งสองสามารถติดหมู่อะมิโนของโปรตีน แต่ FITC ไวและจำเพาะกับโปรตีนที่ละลายน้ำ จึงทำให้เห็นโปรตีนไข่ขาวติดสีเขียว ผลการทดลองนี้ยืนยันโดยการศึกษาของ ศศิกา (2553) ซึ่งข้อมสีตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมไข่ขาวเป็นส่วนผสม ด้วยสีข้อม FITC และโรดามีนบีและภายใต้กล้อง CLSM พบโปรตีนไข่ขาวเป็นสีเขียวเนื่องจากสีข้อม FITC ส่วนโปรตีนแป้งข้าวเป็นสีส้ม และสตาร์ชแป้งข้าวเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากติดสีข้อมโรดามีนบีและFITC ซึ่งจากภาพที่ 22 และภาพที่ 23 บริเวณที่เป็นสีเขียวคือโปรตีนเจลไข่ขาว ส่วนการติดสีของไฮโดรคอลลอยด์ รายงานของ Lamprecht *et al.* (2000) กล่าวว่า สีข้อมฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยาเนต และโรดามีนไอโซไทโอไซยาเนตจะติดที่หมู่ไฮดรอกซิลของสายโพลีแซคคาไรด์ ดังนั้นทั้งแซนแทนกัมและไซเดียมแอลจีเนตซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลจึงติดสีข้อมทั้งฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยาเนต และ โรดามีนบี ทำให้เห็นแซนแทนกัม และไซเดียมแอลจีเนตเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 22 และ 23) ส่วนการติดสีจากไนล์บลูเอนั้น Vignolles *et al.* (2007) รายงานว่าสีข้อมไนล์บลูโดยทั่วไปจะใช้ข้อมไขมัน/น้ำมัน ซึ่งจากภาพที่ 22 และภาพที่ 23 จะเห็นหยดน้ำมันเป็นสีเขียว

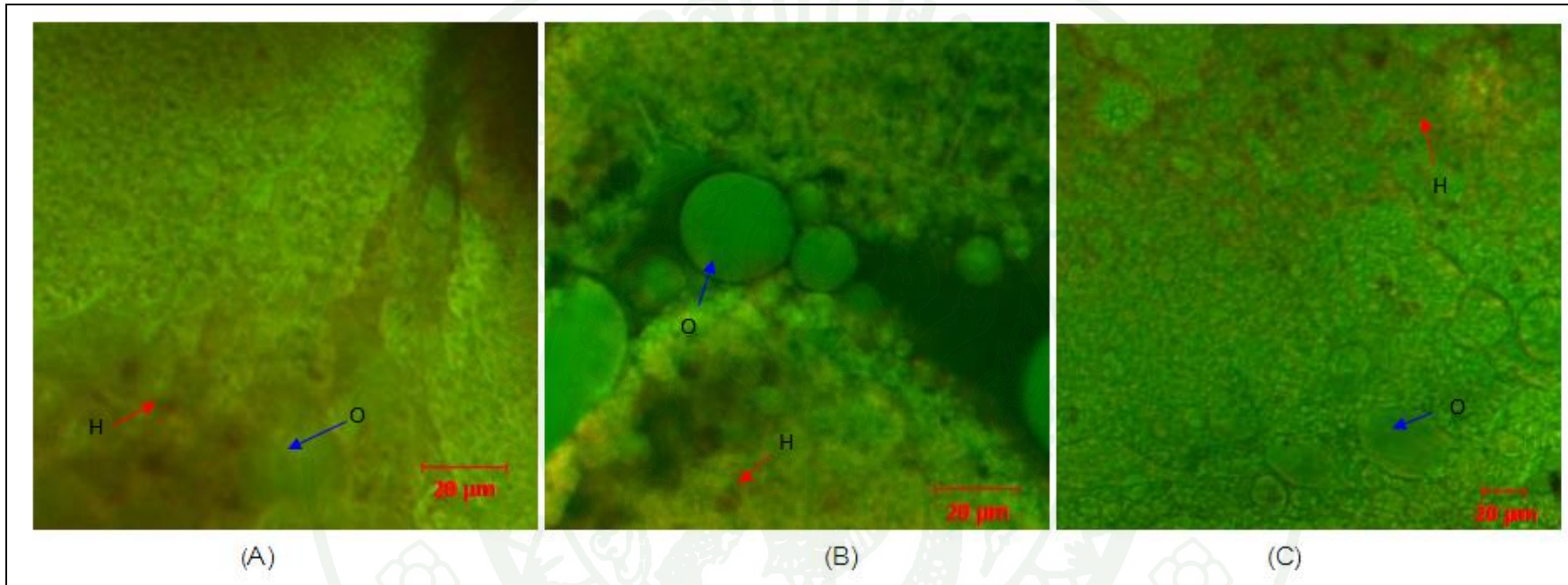
จากการตรวจสอบโครงสร้างละเอียดของไข่ขาวแช่เยือกแข็งด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด โดยศึกษาภาพพื้นผิวด้านบนของตัวอย่าง (ภาพที่ 22) และศึกษาภาพตัดขวางของตัวอย่าง (ภาพที่ 23) เปรียบเทียบตัวอย่าง 3 แบบคือไข่ขาวทอดที่เติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 + CaCl<sub>2</sub> ร้อยละ 0.04 ซึ่งยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง และที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบซ้ำที่ -25 องศาเซลเซียส เก็บแช่เยือกแข็งนาน 13 วัน และที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคที่ -40 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 13 วัน พบว่าโครงสร้างพื้นผิวด้านบนของไข่ขาวทอด ซึ่งยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (ภาพที่ 22A) เห็นโครงสร้างของเจลโปรตีนไข่ขาวเป็นสีเขียวโดยโปรตีนจับตัวกันหนาแน่นและต่อเนื่อง เนื่องจากองค์ประกอบ

ส่วนใหญ่ของไขขาวเป็นโปรตีนและน้ำ เมื่อได้รับความร้อนขณะทอด โปรตีนจึงเกิดการเกาะกลุ่มกัน เกิดโครงสร้างสามมิติที่ห่อหุ้มน้ำไว้ภายใน (Zayas, 1997) และพบไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งติดสื่อน้ำตาลกระจายอยู่เป็นหย่อม ๆ ในโครงสร้างโปรตีน และพบน้ำมันติดบนผิวหน้าไขมีลักษณะทรงกลมสี่เหลี่ยมกระจายอยู่ทั่วไป นอกจากนั้นพบว่าผิวหน้าของไขขาวไม่เรียบ สำหรับไขขาวทอดซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้าแล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำ (ภาพที่ 22B) พบว่าโครงสร้างของเจลโปรตีนถูกแทรกด้วยช่องว่างขนาดใหญ่ (สีดำในภาพ) ซึ่งเป็นร่องรอยของผลึกน้ำแข็งและพบว่าหยดน้ำมันจะมีอยู่มากที่บริเวณช่องว่างดังกล่าว พบไฮโดรคอลลอยด์กระจายอยู่ทั่วไป ไขขาวทอดซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคแล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำ (ภาพที่ 22C) ไม่พบร่องรอยการถูกทำลายโดยผลึกน้ำแข็ง พบไฮโดรคอลลอยด์กระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างเจลเช่นเดียวกับตัวอย่างอื่น ๆ และมีการกระจายอยู่ทั่วไปของหยดน้ำมัน

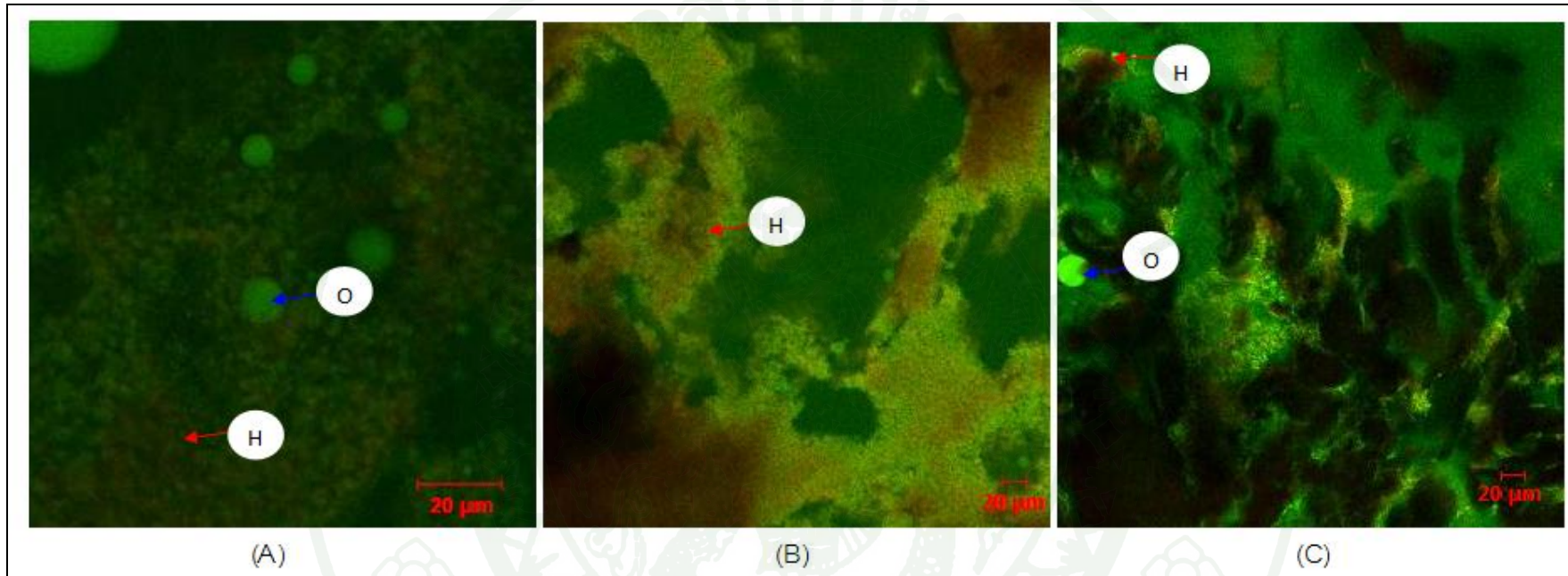
โครงสร้างละเอียดจากภาพตัดขวางของไขขาวแช่เยือกแข็ง ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด (ภาพที่ 23) พบว่าโครงสร้างตัดขวางของไขขาวทอดซึ่งยังไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (ภาพที่ 23A) เห็นโครงสร้างของเจลโปรตีนเป็นสี่เหลี่ยม โปรตีนเกาะกลุ่มกันหนาแน่น และพบช่องว่าง(สีดำในภาพ)ที่เกิดจากการระเหยของน้ำจากด้านในไขขึ้นสู่ผิวหน้าซึ่งเกิดขึ้นขณะทอด พบไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งติดสื่อน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วไปในเจลโปรตีน หยดน้ำมันซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะทรงกลมสี่เหลี่ยมกระจายอยู่ทั่วไป สำหรับไขขาวทอดซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้าแล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำ (ภาพที่ 23B) พบว่าโครงสร้างของเจลโปรตีนถูกทำลายโดยผลึกน้ำแข็ง จากรายงานของ Dawson (1996) รายงานว่าไขขาวที่ถูกทำให้สุกแล้วนำไปแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งแล้วจะไม่สามารถรักษาเนื้อสัมผัสที่ปกติและไม่สามารถรักษาสสมบัติการอุ้มน้ำไว้ได้ ซึ่งจะมีเนื้อสัมผัสที่เต็มไปด้วยรูและมีน้ำไหลซึมออกมา ซึ่งการแช่เยือกแข็งเป็นสาเหตุให้น้ำที่กักไว้ภายในเจลมีการเคลื่อนที่ไปยัง ice nuclea จึงเกิดการสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายในโครงสร้างของโปรตีนไขขาว เมื่อทำละลายน้ำแข็งจะเป็นสาเหตุให้ ผลึกน้ำแข็งละลายเป็นน้ำแยกออกจากเจลโปรตีนเกิดช่องว่าง โปรตีนเจลที่อยู่รอบๆ ช่องว่างดังกล่าวจะแข็งขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ออกไปของน้ำ (Davis et al, 1952) สังเกตว่าไฮโดรคอลลอยด์กระจายอยู่ใกล้กับบริเวณที่เกิดผลึกน้ำแข็ง อาจเนื่องมาจากบริเวณนั้นมีน้ำอิสระอยู่มาก ซึ่งไฮโดรคอลลอยด์เป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำจึงทำให้พบการกระจายของไฮโดรคอลลอยด์อยู่บริเวณที่ใกล้กับบริเวณที่เกิดผลึกน้ำแข็ง ส่วนน้ำมันพบว่ากระจายอยู่ทั่วไป เมื่อนำไขขาวทอดที่เติม  $Xa$  ร้อยละ 0.1 +  $Al$  ร้อยละ 0.2 +  $CaCl_2$  ร้อยละ 0.04 ซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งที่  $-40$  องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 13 วัน แล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำ (ภาพที่ 23C) มาตรวจสอบโครงสร้างตัดขวางอย่างละเอียดด้วย

วิธีการเดียวกัน พบร่องรอยผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างของเจลโปรตีนโดยผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กกว่า การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับรายงานของ Dawson (1996) ซึ่ง รายงานว่าการเพิ่มอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งจะลดขนาดการเกิดผลึกน้ำแข็ง สำหรับ ไฮโดรคอลลอยด์พบกระจายอยู่บริเวณใกล้ผลึกน้ำแข็งและพบหยดน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป





**ภาพที่ 22** โครงสร้างพื้นผิวด้านบนของไซ้ขาวทอดเต็มไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (A) ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส) และให้ความร้อนซ้ำ (B) และผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส) และให้ความร้อนซ้ำ (C) สํารวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด ย้อมสีตัวอย่างด้วยฟลูออเรสซินไอโซโทไซยานเนต โรดามีนบี และไนล์บลูเอ H = ไฮโดรคอลลอยด์และ O = หยดไขมัน สเกลบาร์แสดงในมุมล่างขวาของแต่ละภาพ



**ภาพที่ 23** ภาพโครงสร้างตัดขวางของไข่ขาวทอดเต็มไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (A) ไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส) และให้ความร้อนซ้ำ (B) และไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส) และให้ความร้อนซ้ำ (C) สํารวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด ย้อมสีตัวอย่างด้วย ฟลูออเรสเซินไอโซไทโอไซยาเนต โรดามีนบี และไนล์บลูเอ H = ไฮโดรคอลลอยด์และ O = หยดไขมัน สเกลบาร์แสดงในมุมล่างขวาของแต่ละภาพ

## 6. การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบช้าและการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างที่ยังไม่ได้ให้ความร้อนซ้ำที่เวลา 0, 10, 30 และ 60 วัน นำมาประเมินคุณภาพทางด้านกายภาพของเหลว และสุ่มตัวอย่างที่เวลา 0, 10, 30 และ 60 วัน นำตัวอย่างมาให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟ 600 วัตต์ นาน 1 นาที เพื่อประเมินเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ โครงสร้างผิวหน้าและโครงสร้างตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์ stereo microscope และเปรียบเทียบคุณภาพกับตัวอย่างไข่ขาวทอดสุกที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง

### 6.1 การแยกตัวของของเหลวจากผลิตภัณฑ์

ผลการวัดปริมาณของเหลวที่แยกได้ (ตามวิธีการในภาคผนวก ข ข้อ3) จากตัวอย่างไข่ขาวทอดสุกที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งพบว่า ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งมีปริมาณของเหลวที่แยกออกมาร้อยละ 47.25 เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบไครโอเจนิคจนอุณหภูมิใจกลางเท่ากับ -20 องศาเซลเซียส นำไปเก็บรักษา ที่เวลา 0, 10, 30 และ 60 วัน โดยจัดการทดลองแบบ 2x4 factorial in RCBD ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงในตารางผนวกที่ 3 พบว่าไม่มีอิทธิพลจากวิธีการแช่เยือกแข็งและไม่มีปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยวิธีการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บรักษา แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการแยกตัวของของเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งจากตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นพบว่าจะมีปริมาณของเหลวที่แยกจากตัวอย่างเพิ่มขึ้น และจากการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ one-way ANOVA ดังตารางผนวกที่ 4 เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งซึ่งมีปริมาณของเหลวที่แยกออกมาร้อยละ 47.25 และเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบไครโอเจนิคจนอุณหภูมิใจกลางเท่ากับ -20 องศาเซลเซียส นำไปเก็บรักษา (ที่ 0 วัน) พบว่ามีของเหลวแยกจากตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็นร้อยละ 50.76 และ 50.70 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการแยกของของเหลวเกิดจากการแช่เยือกแข็ง โดยไม่เลือกว่าเป็นการแช่เยือกแข็งอย่างช้าหรือการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคและเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบไครโอเจนิคมีการแยกของของเหลวเท่ากับร้อยละ 57.82 และ 55.36 ตามลำดับแสดงว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่เยือกแข็งทั้งสองวิธีนี้มีการแยกของของเหลวที่เพิ่มขึ้นทั้งสองวิธีตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น แต่หากเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษานาน

กว่า 60 วัน อาจทำให้เห็นความแตกต่างของการแยกของของเหลวระหว่างการแช่เยือกแข็งทั้งสองวิธี ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนี้จากผลการทดลองแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคนั้นมีการนำตัวอย่างใส่กล่องซึ่งเลียนแบบจากผลิตภัณฑ์ไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่ขายเป็นการค้าซึ่งการใส่กล่องส่งผลต่ออัตราการแช่เยือกแข็งโดยพบว่า การแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ไข่ดาวมีอัตราการลดอุณหภูมิขณะแช่เยือกแข็งเท่ากับ 0.61 องศาเซลเซียส/นาที ขณะที่การแช่ในช่องแช่เยือกแข็ง (ที่ -25 องศาเซลเซียส) ไข่ดาวมีอัตราการลดอุณหภูมิขณะแช่เยือกแข็งเท่ากับ 0.16 องศาเซลเซียส/นาที ซึ่งอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียส/นาที จัดเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า (วิไล, 2547) ซึ่งหากลดขนาดภาชนะบรรจุให้มีช่องว่างรอบๆ ผลิตภัณฑ์ให้น้อยที่สุดจนไข่ดาวแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส มีอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็วได้ตามต้องการ น่าจะเห็นผลที่แตกต่างกันชัดเจนขึ้นระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบเร็ว โดยการแช่เยือกแข็งแบบเร็วจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์จากการแช่เยือกแข็งจากรายงานของ Tomoko *et al.*, (2001) ได้ใช้ วิธีการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยระบบสุญญากาศจุ่มในน้ำเกลือเย็นจัดที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส และรายงานว่าได้ไข่ดาวที่เมื่อนำมาทำละลายน้ำแข็งจะมีคุณภาพใกล้เคียงไข่ดาวใหม่สด

**ตารางที่ 12** การแยกตัวของของเหลวจากไซข้าวทอดแช่เยือกแข็งจากการแช่เยือกแข็งแบบช้า (-25 องศาเซลเซียส) และการแช่เยือกแบบแข็งแบบไครโอเจนิค (-40 องศาเซลเซียส) ที่เก็บรักษาที่ -25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน

วิธีการแช่เยือกแข็ง	อายุการเก็บรักษา (วัน)	Liquid separation (%) <sup>1</sup>
แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส)	0	50.76±0.13 a
แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส)	10	52.63±1.90 ab
แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส)	30	55.36±0.41 bc
แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส)	60	57.82±1.23 c
แบบไครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส)	0	50.70±1.22 a
แบบไครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส)	10	53.52±1.54 b
แบบไครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส)	30	54.53±0.06 b
แบบไครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส)	60	55.36±0.90 bc
ไซข้าวทอดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง <sup>2</sup>	0	47.25±1.3

<sup>1</sup> อักษร a, b ที่ต่างกันของค่าในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2</sup> ไซข้าวที่ทอดซึ่งไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นตัวอย่างอ้างอิงซึ่งไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

## 6.2 เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

นำตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบช้าที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส กับแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ทำเยือกแข็งจนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างเท่ากับ -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน นำมาตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยสุ่มตัวอย่างที่เวลาการเก็บรักษา 0, 10, 30 และ 60 วัน นำมาให้

ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ก่อนวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ประเมินค่าแรงสูงสุดที่ต้านการแทงผ่านผิวหนังตัวอย่างและระยะทางที่ตัวอย่างต้านแรงกดก่อนเกิดการแทงทะลุผ่านผิวหนัง ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่จัดการทดลองแบบ 2x4 factorial in RCBD ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงในตารางผนวกที่ 5 พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย แต่มีอิทธิพลจากวิธีการแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งมีผลต่อค่าแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าแรงมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งการแช่เยือกแข็งแบบช้าและการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค จากตารางที่ 13 พบว่าที่ 0 วัน มีค่าแรง 179.64 g และ 134.51g ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งที่ระยะเวลาการเก็บที่ 0 วัน การแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคนั้นให้เนื้อสัมผัสด้านความแน่นแข็งที่ใกล้เคียงกับไข่ดาวที่ทอดสดใหม่ที่สุด ซึ่งมีค่าแรง 88.70 g ค่าแรงที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลจากการแช่เยือกแข็งและการให้ความร้อนซ้ำ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษา ตัวอย่างจากการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบโครโอเจนิคให้นานขึ้นจะทำให้ค่าแรงมีแนวโน้มที่สูงขึ้น นั่นคือผลิตภัณฑ์มีความแน่นแข็งเพิ่มมากขึ้น สำหรับค่าระยะทางจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตารางผนวกที่ 6 พบว่าไม่มีอิทธิพลจากวิธีการแช่เยือกแข็ง และไม่มีปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสอง แต่มีอิทธิพลจากระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งจากตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างจากการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบโครโอเจนิคจะทำให้ระยะทางมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น นั่นคือผลิตภัณฑ์มีความเหนียวมากขึ้นเพราะแตกยากขึ้น มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวคล้ายยางเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไข่ขาวแช่เยือกแข็งเป็นเวลานานจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีความแข็งและเหนียวมากขึ้น

**ตารางที่ 13** คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน

วิธีการแช่เยือกแข็ง	ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	เนื้อสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็ง	
		แรง <sup>1</sup> (g)	ระยะทาง <sup>2</sup> (mm)
แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส)	0	179.64±13.17 b	8.21± 0.11 a
แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส)	10	190.68± 4.64 bc	8.05± 0.17 a
แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส)	30	225.53±20.25 d	7.52± 0.14 a
แบบช้า (- 25 องศาเซลเซียส)	60	210.41± 5.90 cd	11.17± 3.12 b
แบบโครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส)	0	134.51± 6.07 a	9.57± 0.05 ab
แบบโครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส)	10	181.05± 1.14 b	10.49±0.00 b
แบบโครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส)	30	180.08± 0.03 b	7.57±0.03 a
แบบโครโอเจนิค (- 40 องศาเซลเซียส)	60	200.27± 6.83 bc	10.14±0.13 ab

<sup>1</sup> อักษร a, b ที่ต่างกันของค่าแรงแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>2</sup> อักษร a, b ที่ต่างกันของค่าระยะทาง ภายในวิธีการแช่เยือกแข็งแบบเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

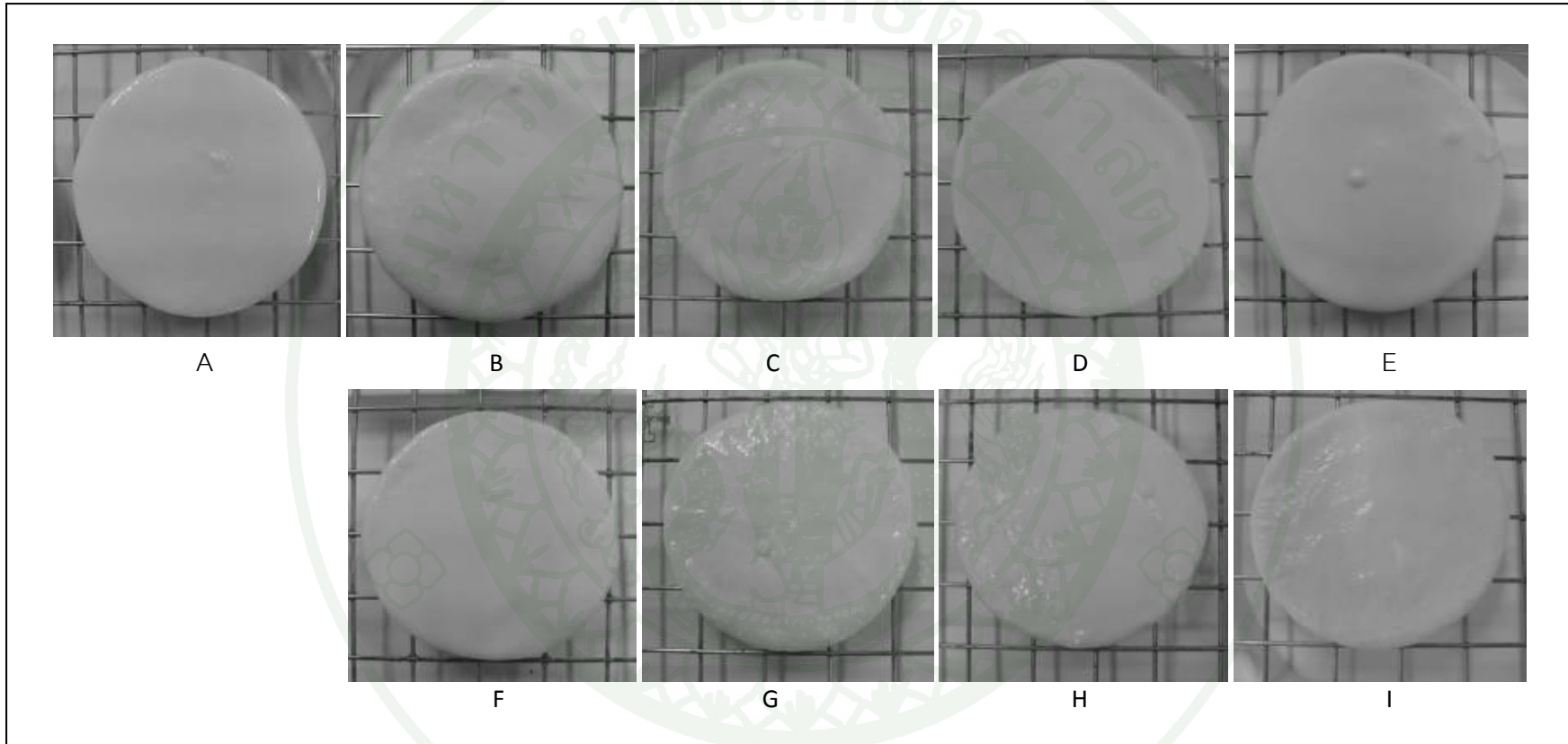
### 6.3 ลักษณะปรากฏและโครงสร้างผลิตภัณฑ์

นำตัวอย่างไข่ขาวทอดสุกที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบโครโอเจนิคจนอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 10, 30 และ 60 วัน แล้วนำมาให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที มาศึกษาลักษณะปรากฏโดยบันทึกภาพพื้นผิวและภาพตัดขวางของตัวอย่าง ด้วยกล้องดิจิทัลและกล้อง stereo microscope (เลนส์วัตถุ x 40) พบว่า การแช่เยือกแข็งแบบช้าทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการยุบตัวของโครงสร้างมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคโดยตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคจะคงลักษณะปรากฏที่ใกล้เคียงกับไข่ดาวที่ทอดสดใหม่มากที่สุดดังภาพที่ 24 การแช่เยือกแข็งแบบช้าทำให้ตัวอย่างมีการยุบตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นอีกทั้งตัวอย่างมีความมันวาวลดลงเมื่อเก็บนานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่พบในไข่ดาว

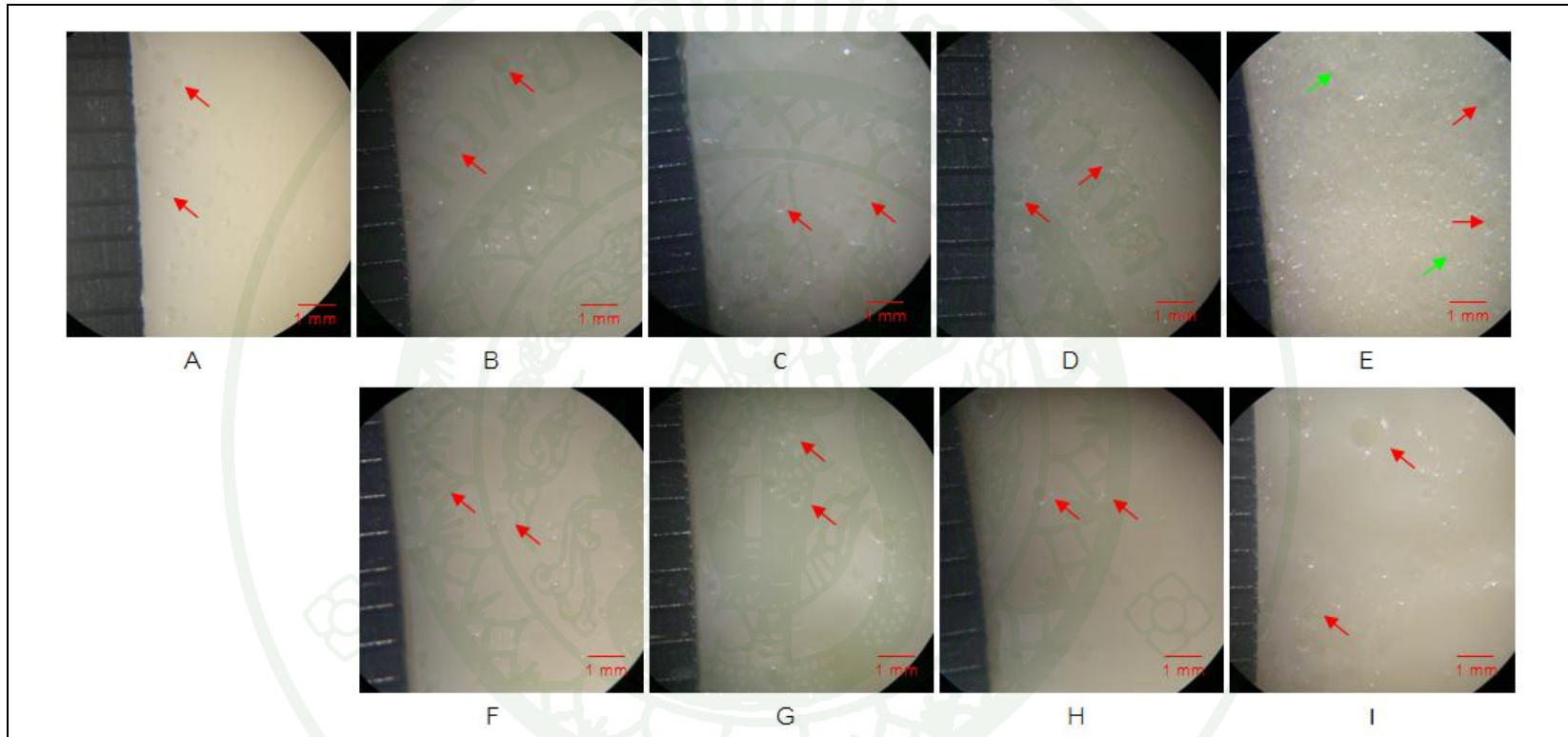
แช่เยือกแข็งแบบโคริโอเจนิคและจากการศึกษาภาพขยายของผิวหน้าของไข่ดาวดังภาพที่ 25 แสดงให้เห็นว่าเริ่มพบร่องรอยของผลึกน้ำแข็งที่ผิวหน้าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งแบบช้าที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน 60 วัน และเมื่อศึกษาโครงสร้างตัดขวางของตัวอย่างด้วยกล้อง stereo microscope ดังภาพที่ 26 พบร่องรอยผลึกน้ำแข็งชัดเจนกว่าที่ผิวหน้า ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น และการแช่เยือกแข็งแบบช้าแสดงให้เห็นโครงสร้างเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำเมื่อเก็บนาน 60 วัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและปริมาณการแยกของของเหลวหลังผ่านการแช่แข็งของไข่ดาวที่เก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน ซึ่งมีแนวโน้มของค่าแรงที่สูงขึ้นและปริมาณของเหลวที่แยกได้เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลากการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งค่าแรงที่สูงขึ้นน่าจะเกิดจากการจับกันของโปรตีนไข่ขาวแน่นขึ้นเป็นกลุ่มๆ ทิ้งให้มีช่องว่างเกิดเป็นรูพรุนในเจลโปรตีนไข่ขาว นอกจากนี้มีผลให้เกิดการยุบตัวของโครงสร้างเป็นจุดๆ หลังการให้ความร้อนซ้ำ การเก็บรักษานานขึ้นอาจทำให้เกิดการระเหิดของน้ำแข็งจากผิวหน้า หยดน้ำมันที่เคลือบผิวหน้าเคลื่อนย้ายเปลี่ยนที่ส่งผลให้ผิวหน้าขาดความมันวาว ส่วนไข่ดาวที่แช่เยือกแข็งแบบเร็วมีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าเนื่องจากผลึกน้ำแข็งเริ่มต้นมีขนาดเล็กกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ (ไพบูลย์, 2532) และการเพิ่มของขนาดผลึกเป็นไปอย่างช้าๆ ตามเวลาการเก็บรักษา

## 7. การพัฒนากระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง

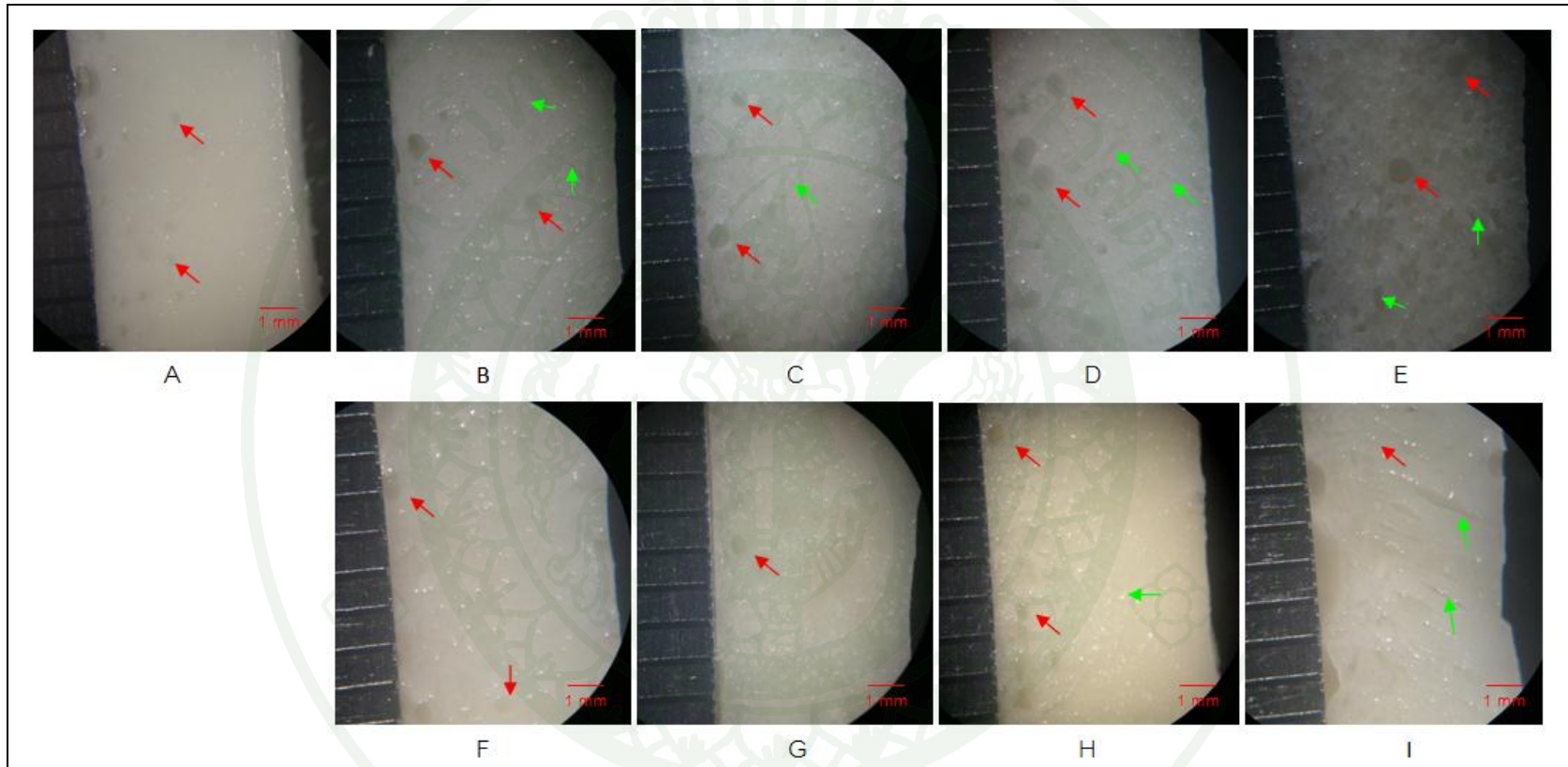
จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ข้อ 1 - 6 จึงเสนอการทำไข่ดาวแช่เยือกแข็งดังกล่าวกระบวนการต่อไปนี้นำไข่สดอายุการเก็บรักษาประมาณไม่เกิน 4 วัน มาตอกแยกไข่ขาวและไข่แดง (ระวังไม่ทำให้ไข่แดงแตก) เติมสาร Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก และกวนผสมโดยการให้ความร้อนไข่ขาวที่ 45 องศาเซลเซียส นำไปทอดในน้ำมันท่วมอุณหภูมิน้ำมันเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เทไข่ขาว 35 กรัม ในพิมพ์วงกลมและหยอดไข่แดงตามลงไป ทอดนาน 7.5 นาที ตั้งให้เย็นและสะเด็ดน้ำมัน ก่อนบรรจุกล่องและแช่เยือกแข็ง จะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงจากการแช่เยือกแข็งที่พบในไข่ดาวทอดแช่เยือกแข็งที่บริเวณไข่ขาวการแช่เยือกแข็งแบบโคริโอเจนิคจะช่วยลดการยุบตัวของโครงสร้างไข่ขาวหลังการให้ความร้อนซ้ำ อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้นจะส่งผลต่อการแยกของของเหลวเพิ่มขึ้น เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น และทำให้เนื้อสัมผัสแข็งและเหนียวมากขึ้น ในการทดลองนี้พบว่าเก็บผลิตภัณฑ์ได้ไม่นานกว่า 60 วัน อย่างไรก็ตามหากปรับปรุงขนาดของภาชนะบรรจุให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ให้มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น รวมทั้งศึกษาระดับความร้อนที่เหมาะสมในการให้ความร้อนซ้ำก่อนการรับประทาน อาจลดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้นและเก็บแช่แข็งได้นานกว่า 60 วัน



ภาพที่ 24 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะปรากฏของไข่ดาว (เฉพาะไข่ขาว) ที่ทอดสดใหม่ (A) และไข่ดาวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส หลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน (B), 10 วัน (C), 30 วัน (D), 60 วัน (E) และลักษณะปรากฏของไข่ดาวแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคที่ -40 องศาเซลเซียส หลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน (F), 10 วัน (G), 30 วัน (H), 60 วัน (I)



**ภาพที่ 25** ภาพผิวหน้าของไฮดาวจากกล้อง Stereo Microscope ไฮดาวที่ทอดสดใหม่ (A) และไฮดาวแช่เยือกแข็งแบบช้าที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส หลังการให้ความร้อนซ้ำ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน (B), 10 วัน (C), 30 วัน (D), 60 วัน (E) และไฮดาวแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส หลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน (F), 10 วัน (G), 30 วัน (H), 60 วัน (I) ลูกศรสีเขียวแสดงร่องรอยการเกิดผลึกน้ำแข็ง ลูกศรสีแดงแสดงช่องว่างจากฟองอากาศ



ภาพที่ 26 ภาพโครงสร้างตัดขวางของไผ่ดาวจากกล้อง Stereo Microscope ไผ่ดาวที่ทอดสดใหม่ (A) และไผ่ดาวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส หลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน (B), 10 วัน (C), 30 วัน (D), 60 วัน (E) และไผ่ดาวแช่เยือกแข็งด้วย ไครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส หลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน (F), 10 วัน (G), 30 วัน (H), 60 วัน (I) ลูกศรสีแดงแสดงร่องรอยการเกิดผลิตภัณฑ์แข็ง ลูกศรสีเขียวแสดงช่องว่างจากฟองอากาศ

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

#### 1. คุณภาพทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบไข่ไก่

ไข่ไก่ที่นำมาเป็นวัตถุดิบเป็นไข่ไก่เกรด A ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบไข่ไก่มีความชื้น ร้อยละ 75.6-76.3 เมื่อคำนวณต่อน้ำหนักแห้งพบว่ามีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 0.3-0.6 มีโปรตีนร้อยละ 12.7-12.8 ไขมันร้อยละ 10.1-10.7 และเถ้าร้อยละ 0.4-0.5

#### 2. การศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการทอดไข่ดาว

2.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไข่ดาวขณะทอดในน้ำมันอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไข่ขาวจะมีอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที และเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที จะมีอุณหภูมิถึง 85.7 องศาเซลเซียส และไข่แดงจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าไข่ขาวตลอดช่วงเวลากการทอดนาน 10 นาที โดยจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25.1 องศาเซลเซียส เป็น 82.8 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

2.2 การตกลิม้แข็งตัวของไข่ ไข่ดิบจะมีลักษณะเหลว เมื่อเริ่มได้รับความร้อนไข่จะเริ่มข้นขึ้น และจะตกลิม้แข็งตัว โดยในการศึกษานี้เมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดที่ 80- 95 องศาเซลเซียส พบว่าไข่แดงและไข่ขาวจะมีการเปลี่ยนแปลง คือ การใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ไข่แดงจะเริ่มสุกและเมื่อครบ 7.5 นาที จะแข็งตัว ส่วนไข่ขาวตกลงในน้ำมันร้อน 80 องศาเซลเซียส ไข่ขาวจะเริ่มเปลี่ยนสีจากขาวใสเป็นสีขาวขุ่นภายในเวลาประมาณ 30 วินาที ซึ่งไข่มีอุณหภูมิ 39.6 องศาเซลเซียส และจะเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นทั้งหมดในเวลาประมาณ 3 นาที ซึ่งไข่มีอุณหภูมิ 77.6 องศาเซลเซียส และเมื่อครบเวลา 5 นาที พบว่าไข่ขาวทั้งหมดจะแข็งตัว ซึ่งที่เวลา 5 นาทีจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 81.9 องศาเซลเซียส

2.3 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทอดไข่ดาว พบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.5 นาทีจะได้ไข่ดาวทอดแซ่เยือกแข็งที่มีความใกล้เคียงกับไข่ดาวที่ทอดสดใหม่มากที่สุด จึงนำสภาวะนี้ไปใช้เพื่อพัฒนาต่อไป

### 3. ผลของแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนตต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของไข่ดาว (เฉพาะไข่ขาว) แซ่เยือกแข็ง

การเติมไฮโดรคอลลอยด์ ที่สัดส่วนต่างๆ พบว่าไข่ดาวแซ่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำ ที่เติมแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนต (Xa + Al) ที่ระดับร้อยละ 0+0.4, 0+0.6, 0.1+0.2, 0.1+0.4 และ 0.1+0.6 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก+โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) มีค่าแรงน้อยที่สุดและไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าแรงอยู่ในช่วง 85.97 g ถึง 109.54 g ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับไข่ดาวที่ทอดสดใหม่ที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (88.70 g) แต่จากการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบยังไม่ชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

### 4. การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไข่ขาวแซ่เยือกแข็ง

การเติม Xa ร้อยละ 0.1 + Al ร้อยละ 0.2 +  $\text{CaCl}_2$  ร้อยละ 0.04 ร่วมกับการให้ความร้อน ไข่ขาวที่ 45 องศาเซลเซียส ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงจากการแซ่เยือกแข็งที่พบในไข่ขาวทอดและเมื่อประเมินทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์

### 5. การเปรียบเทียบการแซ่เยือกแข็งแบบช้าและการแซ่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค

ไข่ขาวทอดบรรจุกล่องพลาสติกขนาด กว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 17.8 เซนติเมตร สูง 4.5 เซนติเมตร เมื่อทำการแซ่เยือกแข็งแบบช้าเปรียบเทียบกับวิธีการแซ่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคพบว่า การแซ่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคนั้นจะทำให้เกิดการยุบตัวของโครงสร้างหลังการให้ความร้อนซ้ำ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งดีกว่าการแซ่เยือกแข็งแบบช้า

### 6. การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

การศึกษาอายุการเก็บรักษา (0-60 วัน) ผลิตภัณฑ์จากการแซ่เยือกแข็งแบบช้าและแบบโครโอเจนิค พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการเก็บรักษาจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น มีการแยกของของเหลวมากขึ้นและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวเพิ่มมากขึ้นโดยปริมาณของเหลวที่แยกหลังการแช่แข็งทั้งสองแบบภายในช่วงการเก็บ 60 วัน ยังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## 7. การพัฒนากระบวนการผลิตไข่ดาวแช่เยือกแข็ง

กระบวนการทำไข่ดาวแช่เยือกแข็งมีดังนี้ นำไข่สดอายุการเก็บรักษาประมาณไม่เกิน 4 วัน มาตอกแยกไข่ขาวและไข่แดง นำไข่ส่วนของขาวที่ผ่านการกรอง ตัวอย่างละ 35 กรัม มาให้ความร้อนในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆ คนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิถึง 45 องศาเซลเซียส (ใช้เวลาประมาณ 10 นาที) ผสมแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนัก และโซเดียมแอลจินेटที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนัก กับไข่ขาว ปริมาณเล็กน้อยคนด้วยมือให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทลงในไข่ขาวที่ให้ความร้อนครบ 10 นาที จากนั้นกวนผสมต่ออีก 40 นาที แล้วเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนัก และกวนต่ออีก 10 นาที ซึ่งจะต้องควบคุมอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส ตลอดการกวนผสม นำส่วนผสมที่ได้มาทอดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.5 นาที เทไข่ขาวในพิมพ์วงกลมตามด้วยไข่แดง นำไข่ดาวที่ได้มาผึ่งบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำมันเป็นเวลา 20 นาที บรรจุใส่กล่องพลาสติก แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิจากกลางของตัวอย่างถึง -20 องศาเซลเซียส หรือนำไปแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการแช่เยือกแข็งได้ แต่จะต้องปรับบรรจุภัณฑ์หรือวิธีการแช่เยือกแข็งเพื่อเพิ่มอัตราเร็วของการทำเยือกแข็ง

### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของไข่ดาวแช่เยือกแข็ง เช่น รูปแบบการบรรจุผลิตภัณฑ์วิธีการให้ความร้อนก่อนการบริโภค อัตราการแช่เยือกแข็ง เป็นต้น
2. ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นในการลดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของไข่ดาวแช่เยือกแข็ง
3. ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไข่ดาวแช่เยือกแข็ง ให้ครอบคลุมระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 เดือน

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชวน คัล้ายปาน. 2545. **เตาอบไมโครเวฟ**. แหล่งที่มา: [http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=8&ved=0CFUQFjAH&url=http%3A%2F%2Fflampang.mcot.net%2Fassets%2Ffile\\_upload%2Ffile\\_201305052001000000188156.pdf&ei=XRWEU\\_THF4rc8AX\\_oKgDw&usg=AFQjCNEmb10iCr0NkcpNLXfus032UxZ2gA](http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=8&ved=0CFUQFjAH&url=http%3A%2F%2Fflampang.mcot.net%2Fassets%2Ffile_upload%2Ffile_201305052001000000188156.pdf&ei=XRWEU_THF4rc8AX_oKgDw&usg=AFQjCNEmb10iCr0NkcpNLXfus032UxZ2gA) 27 พฤษภาคม, 2557.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนนท์. 2013. **โครงสร้างของโปรตีน**. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1596/protein-structure%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%82%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B8%B5%E0%B8%99>, 31 ธันวาคม 2556.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนนท์. 2014. **Haugh Unit / ฮอก**. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3127/haugh-unit-%E0%B8%AE%E0%B8%AD%E0%B8%81>, 27 พฤษภาคม 2557.

ไพบุณย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพฯ.

วรรณมา ตูลยธัญ. 2551. **เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษกร. 2539. หน่วยที่ 9 ไข่. น. 45-122. ใน **อาหารและโภชนาการ**. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

- วิไล รัชสาดทอง. 2547. **อาหารแช่แข็งและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่แข็ง**. แหล่งที่มา: [http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig\\_or\\_th/freezing%20food.pdf](http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/freezing%20food.pdf), 27 มีนาคม 2555.
- วิไล รัชสาดทอง. 2546. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล. 2547. เทคโนโลยีการทอด, น. 67-87. ใน นิธิยา รัตนานนท์ และ ไพโรจน์ วิริยจारी ผู้รวบรวม. **เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร**. TRIO Advertising & Media Co., Ltd., เชียงใหม่.
- ศศิภา เกิดศรีเล็ก. 2553. **ผลของการเติมไข่ขาวจากไข่เป็ดต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมชาย ศรีพูล. 2549. **หลักการเลี้ยงสัตว์**. แหล่งที่มา: <http://www.nsruc.ac.th/elearning/animals/index.php>, 7 มีนาคม 2555.
- อาลักษณ์ ทิพย์รัตน์ และ มณฑิรา นพรัตน์. 2548. **การผลิตไข่แดงเค็มโดยใช้ความดันสูง**. แหล่งที่มา: [http://www.kmutt.ac.th/rippc/egg\\_yolk.htm](http://www.kmutt.ac.th/rippc/egg_yolk.htm), 20 พฤษภาคม 2557.
- อุมาพร ศิริพินทุ์. 2557. **การใช้ความเย็น (Refrigeration and Freezing)**. แหล่งที่มา: [http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning46/ft470/ct/ct\\_0601.html](http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning46/ft470/ct/ct_0601.html), 4 มีนาคม, 2557.
- Akihiro, K. and H. Mariko. 2000. **Composition for frozen egg processed food, its production and frozen egg processed food**. Espacenet patent search JP2000217552. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=5&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20000808&CC=JP&NR=2000217552A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=5&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20000808&CC=JP&NR=2000217552A&KC=A), July 12, 2011.

- Akihiro, K. and H. Mariko. 2000. **Frozen egg processed food**. Espacenet patent search JP2000217553. [http://worldwide.espacenet.com/searchResults?DB=EPODOC&submitted=true&locale=en\\_EP&ST=singleline&compact=false&DB=EPODOC&query=JP+2000217553](http://worldwide.espacenet.com/searchResults?DB=EPODOC&submitted=true&locale=en_EP&ST=singleline&compact=false&DB=EPODOC&query=JP+2000217553), July 12, 2011.
- Alleoni, A.C.C. 2006. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. *Sci Agric*. 63: 291-298.
- Anonymous. 2013. Protein structure prediction. Available Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Protein-structure.png>, December 31, 2013
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17 th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Aref, M.M. and J.J. Stroz. 1974. **Process for the production of frozen eggs**. United States patent 3857974. Available Source: <http://www.freepatentsonline.com/3857974.pdf>, July 12, 2011.
- Azary, P.R. and R.E. Feeney. 1958. Resistance of metal complexes of conalbumin and transferring to proteolysis and to thermal denaturation. *Journal of Biological Chemistry*, 232: 292-302. *Cited* A. C.C. Alleoni. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. *Sci Agric*. 63: 291-298.
- Campo-Deano, L. and C.Tovar. 2009. The effect of egg albumen on the viscoelasticity of crab sticks made from Alaska Pollock and Pacific Whiting surimi. *Food Hydrocolloids* 23: 1641-1646.

- Challen, I. and R. Moorhouse. 2011. Hydrocolloids in Restructured Foods. pp. 165-214. In T.R.Laaman, ed. **Hydrocolloids in Food Processing**. Blackwell Publishing. Singapore.
- Christ, D., K.P. Takeuchi and R.L. Cunha. 2005. Effect of sucrose addition and heat treatment on egg albumen protein gelation. **Journal of Food Science**. 70: 230-238.
- Cotterill, O.J. 1995. Freezing Egg Products. pp. 265-288. In W.J. Stadelman and O.J. Cotterill Jr., eds. **Egg Science and Technology**. Food Products Press, New York.
- Davis, J.G. Hanson HL, Lineweaver H. 1952. Characterization of the effect of freezing on cooked egg. **Food Res**. 17:393-401.
- Dawson, P.L. 1996. Effects of Freezing, Frozen Storage, and Thawing on Eggs and Egg Products. pp 337-366. In L.E. Jeremiah ed. **Freezing Effects on Food Quality**. Marcel Dekker, New York.
- Draget, K.I. 2009. Alginates. pp 807-828. In G.O. Phillips, P.A. Williams, eds. **Handbook of hydrocolloids**. Woodhead Publishing Limited, New York.
- Donovan, J.W. and C.J. Mapes. 1976. A differential scanning calorimetric study of conversion of ovanbumin to s-ovalbumin. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 27: 197-204. Cited A.C.C. Alleoni. 2006. Albumen protein and functional propertirs of gelation and foaming. **Sci Agric**. 63: 291-298.
- Epstein, J.J. and T. Kans. 1976. **Method of Freezing cooked eggs**. United States patent 3965270. Available Source: <http://www.freepatentsonline.com/3965270.pdf>, July 12, 2011.

Fellows, P. 2000. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. CRC Woodhead Publishing Limited, England.

Fennema, O.R. 1996. **Food chemistry**. 3<sup>rd</sup> ed. Marcel Dekker, Inc., New York.

Ferry, J.D. 1948. Protein gels. **Advances in Protein Chemistry**. 4: 1-78. *Cited* A.C.C. Alleoni. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. **Sci Agric**. 63: 291-298.

Ghosh, A.K. and P. Bandyopadhyay. 2014. **Polysaccharide-Protein Interactions and Their Relevance in Food Colloids**. . Available Source: <http://www.intechopen.com/books/the-complex-world-of-polysaccharides/polysaccharide-protein-interactions-and-their-relevance-in-food-colloids#SEC2>, July 3, 2014.

Heldman, D.R. and T.A. Taylor. 1997. Modeling of Food Freezing, pp. 51-64. *In* M.C. Erickson and Y.C. Hung, eds. **Quality in Frozen Food**. Chapman&Hall, New York.

Hitoshi, F., K. Tomoko and S. Norio. 1997. **Production of frozen egg product**. Espacenet patent search JP 9275893. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19971028&CC=JP&NR=9275893A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19971028&CC=JP&NR=9275893A&KC=A), July 12, 2011.

Kiyuuji, M. 1981. **Preparation of frozen egg and frozen egg**. Espacenet patent search JP 56169542. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19811226&CC=JP&NR=56169542A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19811226&CC=JP&NR=56169542A&KC=A), July 12, 2011.

- Lemprecht, A., Schafer U.F. and C.M. Lehr. 2000. Characterization of microcapsules by confocal laser scanning microscopy: structure, capsule wall composition and encapsulation rate. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**. 49: 1-9.
- Li-Chan, E.C.Y., W.D. Powrie and S. Nakai. 1995. The chemistry of eggs and egg products, pp. 105-175. *In* W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. **Egg Science and Technology**. Food Products Press, New York.
- Lineweaver, H., F.E. Cunningham, J.A. Garbaldi and K. Ijichi. 1967. Heat stability of egg white proteins under minimal conditions that kill salmonellae. U.S. Dept. Agr. ARS 74-39.
- Merkle, J.A., Ball HR., Mathews JW. 2012. **Process to prepare a premium formulated fried egg**. United States Patent US 8211488 B2. Available Source: <http://www.freepatentsonline.com>, Accessed 4 Apr 2013.
- Meyertholen, E. **Diffusion II**. Available Source: <http://www.austincc.edu/emeyerth/diffuse2.htm>, March 5, 2014.
- Mitsumune, T., T. Masaki, S. Manabu, T. Hideyuki and M. Shohei. 1991. **Egg yolk suppressing freeze denaturation and production thereof**. Espacenet patent search JP 3292874. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19911224&CC=JP&NR=3292874A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19911224&CC=JP&NR=3292874A&KC=A), July 12, 2011.
- Moe, T.S., K.I. Draget, G.S. Break and O. Smidsrod. 1995. Alginates. pp 245-286. *In* A.M. Stephen, ed. **Food Polysaccharides and Their Applications**. New York: Marcel Dekker.

- Monsanto. G.S. 2000. Xanthan gum. pp. 103-115. *In* G.O. Phillips and P.A. Williams, eds. **Hanbook of Hydrocolloids**. Woodhead, Abington Cambridge.
- Nakamura, D. and E. Doi. 2000. Egg processing. pp. 171-207. *In* S. Nakai and H. W. Modler, eds. **Food Proteins: Processing applications**. Wiley-VCH, Inc., New York.
- Nishinari, J.K., H. Zhang and S. Ikeda. 2000. Hydrocolloid gels of polysaccharides and proteins. **Current Opinion in Colloid & Interface Science** 5: 195-201.
- Nissinovitch, A. 1997. **Hydrocolloid Applications**. 1 st ed. Blackie Academic & Professional, London.
- Okinori, I., T. Nobuo, M. Eiko and W. Takahiko. 1995. **Processed frozen boiled egg and thawed product thereof**. Espacenet patent search JP 7135926. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19950530&CC=JP&NR=7135926A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19950530&CC=JP&NR=7135926A&KC=A), July 12, 2011.
- Okubo, T., S. Akachi and H. Hatta. 1997. Structure of hen eggs and physiology of egg laying. *In* T. Yamamoto., L.R., Juneja., H Hatta and M. Kim, eds. **Hen Eggs Their Basic and Applied Science**. CRC Press. New York.
- Osuga, D.T. and R.E. Feeney. 1977. Egg protein. 209-266. *In* Whitaker, J.R. and S.R. Tannenbaum. **Food proteins**. 2 ed. Avi Publishing, Westport. *Cited* A.C.C. Alleoni. 2006. Albumen protein and functional propertirs of gelation and foaming. **Sci Agric**. 63: 291-298.

- Pongjanyakul, T. and S. Puttipipatkachorn. 2007. Xanthan-alginate composite gel beads: Molecular interaction and in vitro characterization. **International Journal of Pharmaceutics**. 331 : 61-71.
- Powrie, W.D. 1973. Chemistry of eggs and egg product, pp. 61-89. *In* W. J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. **Egg science and technology**. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, USA.
- Powrie, W.D. and S. Nakai. 1985. Characteristics of edible and fluids of animal origin: egg. *In* Fennema, O. **Food chemistry**. Marcel Dekker. New York.
- Persson, P.O. and G. Londahl. 1993. Freezing Technology, pp. 20-58. *In* C.P. Mallett, ed. **Frozen Food Technology**. Chapman&Hall, Great Britain.
- Sahin S. and S.G. Sumnu. 2009. **Advances in deep-fat frying of food**. Available Source: [http://books.google.co.th/books?id=RgU9u9oUSDQC&printsec=frontcover&hl=th&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.co.th/books?id=RgU9u9oUSDQC&printsec=frontcover&hl=th&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). Accessed 17 Nov 2013.
- Shunji, M. 1996. **Production of frozen raw egg**. Espacenet patent search JP8116864. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/search/Results?DB=EPODOC&submitted=true&locale=en\\_EP&ST=singleline&compact=false&DB=EPODOC&query=production+of+frozen+raw+egg](http://worldwide.espacenet.com/search/Results?DB=EPODOC&submitted=true&locale=en_EP&ST=singleline&compact=false&DB=EPODOC&query=production+of+frozen+raw+egg), July 12, 2011.
- Stadelman, W.J. 1977. Egg Proteins, pp. 207-239. *In* H.D.Graham, ed. **Food Colloids**. The AVI publishing company, Inc., USA.
- Stadelman, W.J. and O.J. Coterril. 1973. **Egg science and technology**. Avi Publishing, Westport. *Cited* A. C.C. Alleoni. 2006. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. **Sci Agric**. 63: 291-298.

- Sugino, H., T. Nitida and L.R. Juneja. 1997. General chemical composition of hen eggs, pp. 13-24. *In* T. Yamamoto, L.R. Juneja, H. Hatta and M. Kim, eds. **Hen Egg: Their Basic and Applied Science**. CRC Press, Inc., USA.
- Sworn, G. 2009. Xanthan gum. pp. 186-203. *In* G.O. Phillips and P.A. Williams eds. **Hanbook of Hydrocolloids**. Woodhead publishing, UK
- Tadamitsu, T. 1980. **Preparation of frozen egg**. Espacenet patent search JP 55144846. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19801112&CC=JP&NR=55144846A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19801112&CC=JP&NR=55144846A&KC=A), July 12, 2011.
- Takao, F and H. Kenichi. 2009. **Method for producing boiled and frozen egg**. Espacenet patent search JP 2001346507. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20011218&CC=JP&NR=2001346507A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20011218&CC=JP&NR=2001346507A&KC=A)
- Tatsushi, N., G. Satomi and I. Tetsuji. 1986. **Liquid egg for freezing**. Espacenet patent search JP 61115441. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=3&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19860603&CC=JP&NR=61115441A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=3&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19860603&CC=JP&NR=61115441A&KC=A), July 12, 2011.
- Ternes, W. 2001. Egg protein. pp. 335-371. *In* Z.E. Sikorski, ed. *Chemical and Functional Properties of Food Proteins*. CRC Press, Lancaster.
- Thapon, J.L. and Bourgeois C.M. 1994. **L'oeuf et les ovoproduits**. Tec et Doc Lavoisier. Paris. *Cited* G.O Phillips and P.A Williams. **Hanbook of Hydrocolloids**. 1 st ed. Woodhead, Abington Cambridge. pp. 103-115.

- Tomoko, Y., K. Makoto and H. Hiroshi. 2001. **Method for freezing fried egg**. Espacenet patent search JP2001120230. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=10&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=20010508&CC=JP&NR=2001120230A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=10&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20010508&CC=JP&NR=2001120230A&KC=A), July 12, 2011.
- Toru, K. and H. Harumi. 1997. **Frozen cut boiled egg and its production**. Espacenet patent search JP 9154539. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19970617&CC=JP&NR=9154539A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19970617&CC=JP&NR=9154539A&KC=A), July 12, 2011.
- Tromp, R.H., Y. Nicolas, F. van de Velde and M. Paques. 2003. Confocal scanning laser microscopy (CLSM) for monitoring food composition, pp. 306-323. *In* I.E. Tothill, ed. **Rapid and On-Line Instrumentation for Food Quality Assurance**. CRC Press, New York.
- Tsuneo, H. 1996. **Production of seasoned and frozen boiled egg**. Espacenet patent search JP 8205825. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19960813&CC=JP&NR=8205825A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19960813&CC=JP&NR=8205825A&KC=A), July 12, 2011.
- Vadehra, D.V. and K.R. Nath. 1973. Eggs as a source of protein. **Critical reviews in Food Technology**. 4: 193-308. *Cited* A.C.C. Alleoni. 2006. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. **Sci Agric**. 63: 291-298.
- Vignolles, M.R., R. Jeantet, C. Lopez and P. Schuck. 2007. **Free fat ,surface fat and dairy powder:interactions between process and product. A review**. Available Source: [http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fhal.archives-ouvertes.fr%2Fdocs%2F00%2F89%2F56%2F41%2FPDF%2Fhal-00895641.pdf&ei=ugtmU6GpPmb28QX9iYCoAw&usg=AFQjCNEPr0KB\\_9wVLoll1o7aSZr7pwllrg](http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fhal.archives-ouvertes.fr%2Fdocs%2F00%2F89%2F56%2F41%2FPDF%2Fhal-00895641.pdf&ei=ugtmU6GpPmb28QX9iYCoAw&usg=AFQjCNEPr0KB_9wVLoll1o7aSZr7pwllrg), May 20, 2557.

Woodward, S.A. 1990. Egg protein gels, pp. 175-199. *In* P. Harris, ed. **Food Gel**. Elsevier Science publishers, Ltd. New York.

Yasushi, M. 1991. **Antigelling agent of frozen egg**. Espacenet patent search JP 3112440. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=3&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19910514&CC=JP&NR=3112440A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=3&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19910514&CC=JP&NR=3112440A&KC=A), July 12, 2011.

Yasushi, M. and Y. Akifumi. 1995. **Agent for preventing gelatinization of frozen egg**. Espacenet patent search JP 7023703. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19950127&CC=JP&NR=7023703A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19950127&CC=JP&NR=7023703A&KC=A), July 12, 2011.

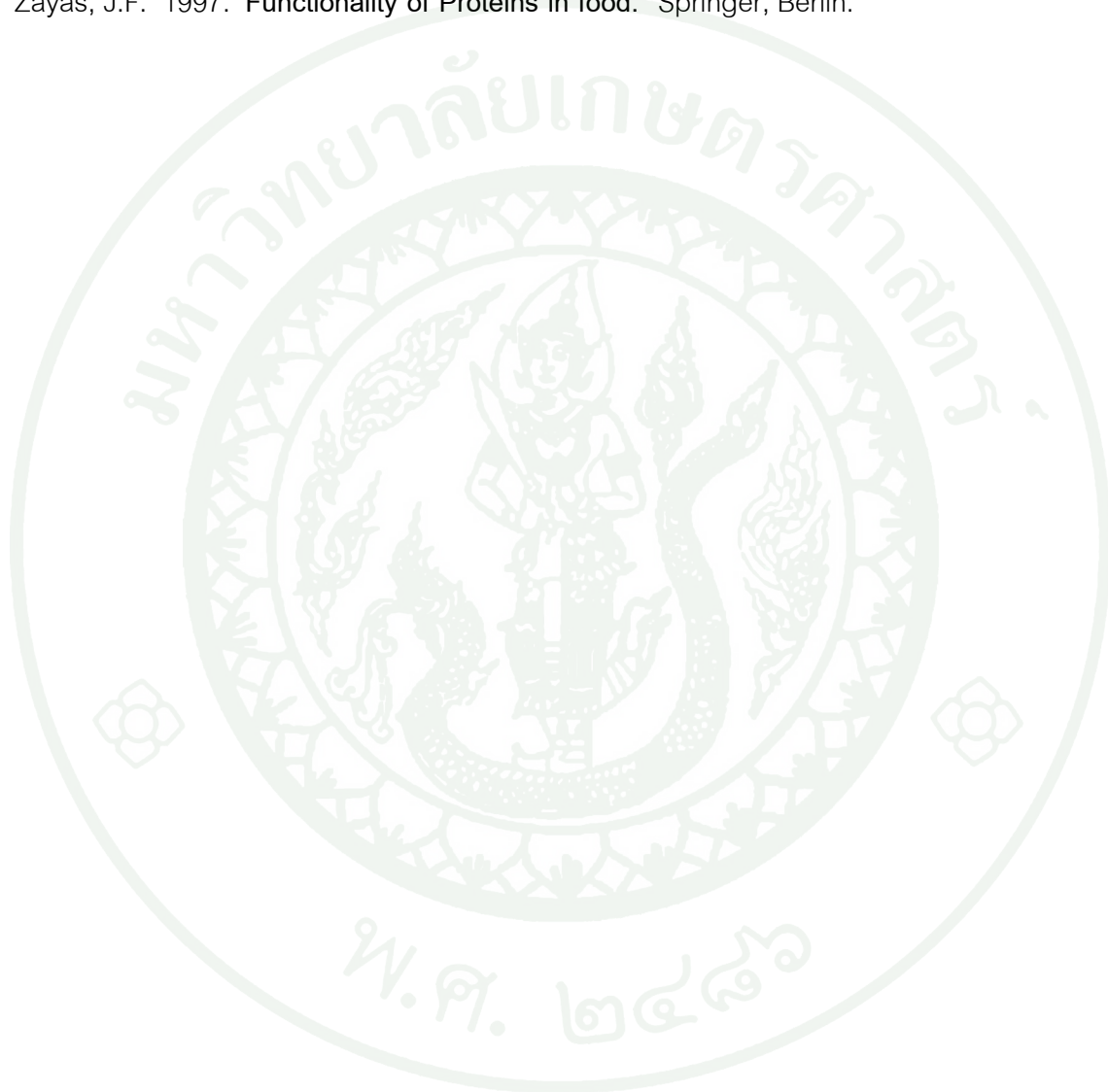
Yasushi, N., T. Kazunobu and K. Wataru. 2002. **Method for producing frozen egg processed product**. Espacenet patent search JP2002204651. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20020723&DB=EPODOC&locale=en\\_EP&CC=JP&NR=2002204651A&KC=A&ND=4](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20020723&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=JP&NR=2002204651A&KC=A&ND=4), July 12, 2011.

Yukio, T., M. Hideo and S. Hiroshi. 1998. **Frozen fried egg**. Espacenet patent search JP 10146170. Available Source: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=3&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19980602&CC=JP&NR=10146170A&KC=A](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=3&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19980602&CC=JP&NR=10146170A&KC=A), July 12, 2011.

Zabik, M. 1992. Eggs and products. *In* J. Bowers. Food theory and application. 2 ed. Macmillan Publishing. New York. 359-424. *Cited* A. C. Alleoni. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. **Sci Agric**. 63: 291-298.

Zaritzky, N. 2012. Physical-Chemical Principles in Freezing. pp. 3-37. *In* Da-Wen Sun, ed. *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging*. CRC Press. New York.

Zayas, J.F. 1997. *Functionality of Proteins in food*. Springer, Berlin.







## 1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000)

### 1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 ภาชนะใส่ตัวอย่าง (moisture can) ทำด้วยอลูมิเนียม

1.1.2 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

1.1.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

1.1.4 โถดูดความชื้น (desicator)

### 1.2 วิธีการวิเคราะห์

อบตัวอย่างอลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ใสตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 4-5 กรัมลงในถ้วยอลูมิเนียม แล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำตัวอย่างออกมาชั่งหาน้ำหนัก อบซ้ำจนได้น้ำหนักของตัวอย่างคงที่คือให้น้ำหนักของผลต่างทั้งสองครั้งไม่เกิน 1 มิลลิกรัม

### 1.3 วิธีคำนวณ

ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}} \times 100$$

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธี Soxtec system ดัดแปลงจาก AOAC (2000)

### 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Soxtec System HT6

2.1.2 ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

2.1.3 เดซิเคเตอร์

2.1.4 ตู้อบลมร้อน

2.1.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2.2 สารเคมี

2.2.1 บีโตรเลียมอีเทอร์

2.3 วิธีการ

เปิดเครื่องทำความเย็นให้อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เปิดเครื่องทำความร้อนรอให้เครื่องพร้อมทำงาน ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 5 กรัมใส่ใน thimble แล้วนำไปใส่ใน extraction unit นำบีโตรเลียมอีเทอร์ปริมาณ 60 มล. ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมที่ผ่านการอบซึ่งหาน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำถ้วยอลูมิเนียมต่อเข้ากับ extraction unit ทำการสกัดนาน 20 นาที จากนั้นทำการล้าง 10 นาที และระเหยตัวทำละลายอีก 20 นาที นำถ้วยอลูมิเนียมไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน

2.4 วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{W3-W2}{W1} \times 100$$

เมื่อ  $W1 =$  น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$W2 =$  น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่ผ่านการอบหาน้ำหนักที่แน่นอน (กรัม)

$W3 =$  น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมและไขมันที่สกัดได้ (กรัม)

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน และโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl ดัดแปลงจาก AOAC (2000)

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 ชุดเครื่องกลั่น Kjeltec 1026 Distilling unit

3.1.2 ชุดเครื่องย่อย Digestion System 1007

3.1.3 หลอดย่อย และ Tube stand

#### 3.2 สารเคมี

3.2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

3.2.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

3.2.3 สารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2

3.2.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40

3.2.5 สารเร่งปฏิกิริยา: คอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม และโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กรัม

3.2.6 สารละลายอินดิเคเตอร์ (ละลายเมธิลเรด 0.02 กรัม และ โบรโมครีซอลกรีน 0.1 กรัมใน เอทานอลปริมาตร 100 มล.)

3.2.7 ทริสบัฟเฟอร์

#### 3.3 วิธีการ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ใส่ลงในหลอดย่อย เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ใส่เม็ดลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2-3 เม็ด จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำหลอดต่อเข้ากับชุดย่อย ทำการย่อยจนได้สารละลายใสทั้งไว้ให้เย็น นำหลอดย่อยต่อกับชุดเครื่องกลั่นเติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 จนกว่าสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล โดยใช้เวลากลั่นประมาณ 3 นาที รอรับสารละลายที่กลั่นได้ด้วยขวดรูปชมพู่ซึ่งมีสารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 60 มิลลิลิตร และสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มัล จนได้สารละลายสีเทาซึ่งเป็นจุดยุติทำแบลนด์เปรียบเทียบโดยไม่ใส่ตัวอย่างในหลอดย่อย

สำหรับการหาค่าแฟคเตอร์ของกรดที่ใช้ในการไตเตรท ทำโดยชั่งทริสบัฟเฟอร์ 120 มิลลิกรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอน ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด นำไปไตเตรทด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มัล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเทา

### 3.4 วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(S-B) \times N \times f \times 1400}{W}$$

ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) = ปริมาณไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์) × nitrogen factor

$$\text{แฟคเตอร์กรด (f)} = \frac{E}{121.14 \times N \times V}$$

- เมื่อ
- S = ปริมาตรของกรดที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
  - B = ปริมาตรของกรดที่ใช้ไตเตรทแบลนด์ (มิลลิลิตร)
  - W = น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)
  - f = แฟคเตอร์ของกรดที่ใช้ในการไตเตรท
  - N = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไตเตรท (นอร์มัล)
  - V = ปริมาตรของกรดที่ใช้ไตเตรททริสบัฟเฟอร์ (มิลลิลิตร)
  - E = น้ำหนักของทริสบัฟเฟอร์ (มิลลิกรัม)

## 4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC (2000)

### 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 4.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
- 4.1.2 เตาเผาไฟฟ้า (electric muffle furnace)
- 4.1.3 เดซิเคเตอร์
- 4.1.4 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 4.1.5 ตะเกียงบุนเซ็น

#### 4.2 วิธีการ

ซึ่งตัวอย่างแห้งประมาณ 5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควันสีดำ แล้วเผาต่อในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $550 \pm 20$  องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง จนได้เถ้าสีขาวหรือสีเทา ที่งัวให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน

#### 4.3 วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \times 100$$

#### 5. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)} = 100 - (\text{ปริมาณความชื้น} + \text{ปริมาณโปรตีน} + \text{ปริมาณไขมัน} + \text{ปริมาณเถ้า})$$



## 1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัสของไข่ขาว

โดยนำไข่ดาวจากแต่ละการทดลองมาวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture โดยให้แรงกดครั้งเดียว วัดแบบแทงทะลุ (penetration test) ที่ไข่ขาวชั้น 6 จุด ดังภาพที่ โดยใช้ probe P/6 (6 mm DIA CYLINDER STAINLESS) กำหนดค่าในการวัดดังนี้

Mode : Measure Force in Compression

Option : Return to Start

Pre-Test Speed : 1 mm/s

Test- Speed : 1 mm/s

Post-Test Speed: 10 mm/s

Distance: 25 mm

Tigger Force: 1g

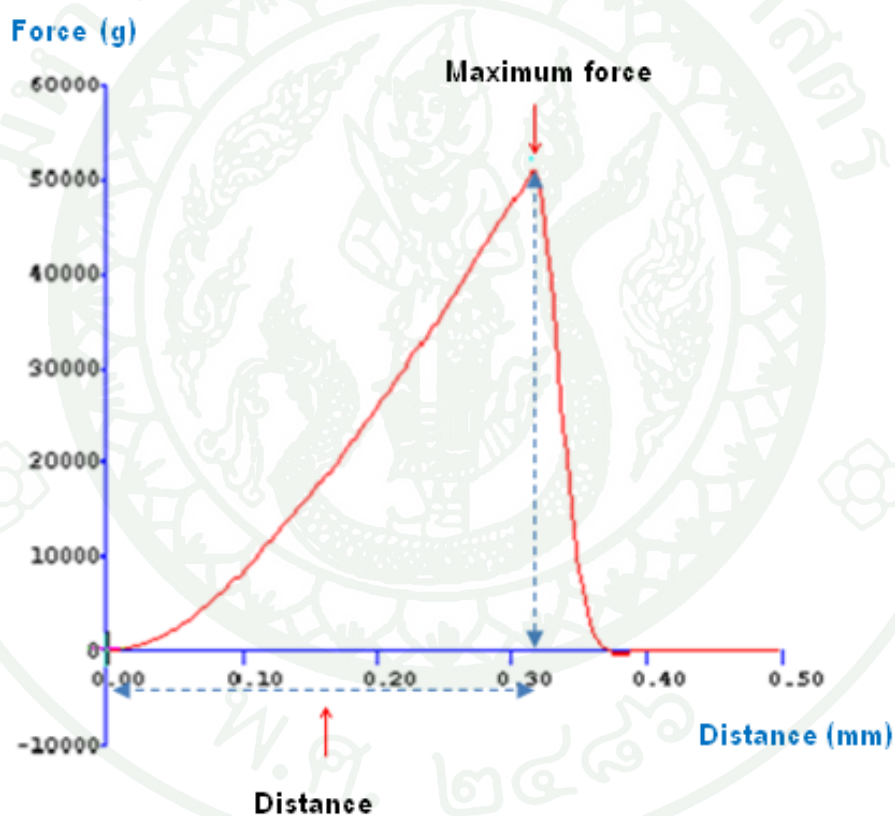


ภาพผนวกที่ ข1 ตำแหน่งการวัดเนื้อสัมผัสของไข่ดาวหลังการละลายน้ำแข็ง

รายงานค่าดังนี้

1. แรงต้านสูงสุด (maximum force) เป็นค่าแรงสูงสุดที่วัดได้จากการต้านจากบริเวณผิวหน้าของตัวอย่างด้วยการกดตัวอย่างจาก probe P/6 ด้วยอัตราเร็ว 1 mm/s มีหน่วยเป็นกรัม ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข2

2. ระยะทาง (Distance) ระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดที่มีแรงต้านสูงสุด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข2



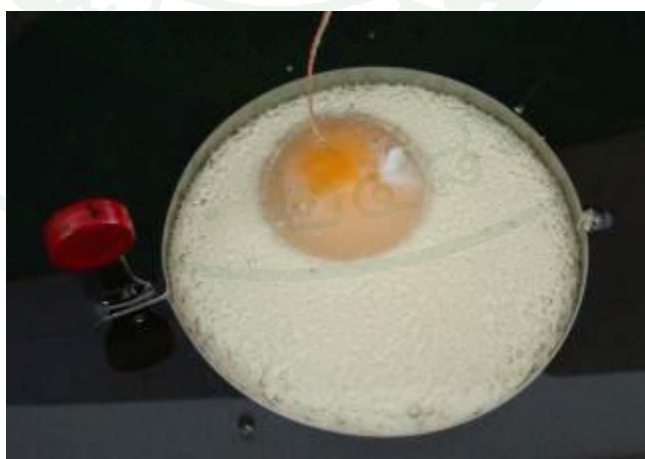
ภาพผนวกที่ ข2 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดค่าเนื้อสัมผัส

## 2. การติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่ขาวและไข่แดง

ทอดไข่ดาวโดยเทไข่ขาว 35 กรัมลงในแม่พิมพ์และเทไข่แดงตามทันทีซึ่งควบคุมอุณหภูมิ น้ำมันให้คงที่ที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้เทอร์โมคอปเปิลติดตามอุณหภูมิของไข่ขาวและไข่แดง ที่จุดกึ่งกลางส่วนของไข่ขาวและและจุดกึ่งกลางส่วนของไข่แดง ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข3 และ ภาพผนวกที่ ข4 ตาลำดับ



ภาพผนวกที่ ข3 การติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่ขาว



ภาพผนวกที่ ข4 การติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่แดง

### 3. การวัดปริมาณของเหลวที่ไหลแยกออกจากไข่ (ดัดแปลงจาก Davis *et al.* 1952)

นำไข่ขาวที่ผ่านการแช่เยือกแข็งโดยยังไม่ได้ให้ความร้อนซ้ำมาตัดเป็นชิ้นน้ำหนักประมาณ 2-3 กรัม ตัดบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักแล้ว และนำไปห่อด้วยผ้าขาวบางและผูกเชือกที่ทราบน้ำหนักแล้ว จากนั้นนำไปใส่หลอดเซนติฟิวที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปตั้งน้ำหนักทั้งหมด นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนติฟิวที่ความเร็ว 546 g เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำหลอดเซนติฟิวซึ่งมีของเหลวที่แยกออกมาจากตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก แล้วชั่งน้ำหนักผ้าขาวบางที่มีเชือกและตัวอย่างและแกะผ้าขาวบางมาชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังเหวี่ยง น้ำหนักปริมาณของเหลวที่แยกได้คำนวณจาก

ร้อยละปริมาณของเหลวที่แยกได้ทั้งหมดคำนวณจาก

ร้อยละของเหลวที่ติดบนกระดาษกรอง + ร้อยละของเหลวที่แยกได้จากการเหวี่ยงแยก

ร้อยละของเหลวที่ติดบนกระดาษกรองคำนวณจาก

$$\frac{(\text{น้ำหนักกระดาษกรองหลังใช้} - \text{น้ำหนักกระดาษกรองก่อนใช้}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ร้อยละของเหลวที่แยกได้จากการเหวี่ยงแยกคำนวณจาก

$$\frac{(\text{ปริมาณของเหลวที่ติดบนผ้าและเชือก} + \text{ปริมาณของเหลวในหลอดทดลองหลังเหวี่ยงแยก}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเหวี่ยง}}$$

น้ำหนักตัวอย่างก่อนเหวี่ยงคำนวณจาก

น้ำหนักรวมทั้งหมดก่อนเหวี่ยง - น้ำหนักหลอดทดลองพร้อมฝา - น้ำหนักผ้าพร้อมเชือก

ปริมาณของเหลวที่ติดบนผ้าและเชือกคำนวณจาก

$$\text{น้ำหนักผ้าและเชือกหลังใช้} - \text{น้ำหนักผ้าและเชือกก่อนใช้}$$

ปริมาณของเหลวในหลอดทดลองหลังการเหวี่ยงแยกคำนวณจาก

น้ำหนักหลอดทดลองหลังเหวี่ยงแยกซึ่งมีของเหลวอยู่ - น้ำหนักหลอดทดลองก่อนใช้



ภาพผนวกที่ ข5 ของเหลวที่แยกได้โดยวิธีการเหวี่ยงแยกที่ดัดแปลงมาจาก Davis *et al.* 1952



**แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**  
**ผลิตภัณฑ์ไข่ดาวแช่เยือกแข็ง**

ชื่อ.....วันที่.....ชุดที่.....

เพศ  ชาย  หญิง อายุ.....ปี ระดับการศึกษา.....

คุณเคยรับประทานทานไข่ดาวแช่เยือกแข็งหรือไม่  เคย  ไม่เคย

ถ้าคุณเคยรับประทาน คุณชอบรับประทานไข่ดาวแช่เยือกแข็งหรือไม่

ชอบ เพราะ.....  ไม่ชอบ เพราะ.....

**คำชี้แจง** โปรดทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้อีกซ้ำไปซ้ำมา และให้ระดับความชอบและไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

2 = ไม่ชอบมาก

3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

5 = เฉยๆ

6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

9 = ชอบมากที่สุด

โปรดให้เหตุผลในการอธิบายความรู้สึกของท่านด้วย

คุณลักษณะ	รหัส					
	469	807	562	944	724	315
ลักษณะปรากฏ						
ความยืดหยุ่น*						
ความแน่นเนื้อ**						
กลิ่น						
รสชาติ						
ความชอบโดยรวม						

\*ความยืดหยุ่น คือ อัตราส่วนในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์หลังจากพื้นที่กีดผลิตภัณฑ์ถอนออกจากผลิตภัณฑ์

\*\*ความแน่นเนื้อ คือ ความรู้สึกที่สัมผัสในปากว่าไม่ละ

**เหตุผลของความชอบหรือไม่ชอบผลิตภัณฑ์**

469 : .....

807 : .....

526 : .....

944 : .....

724 : .....

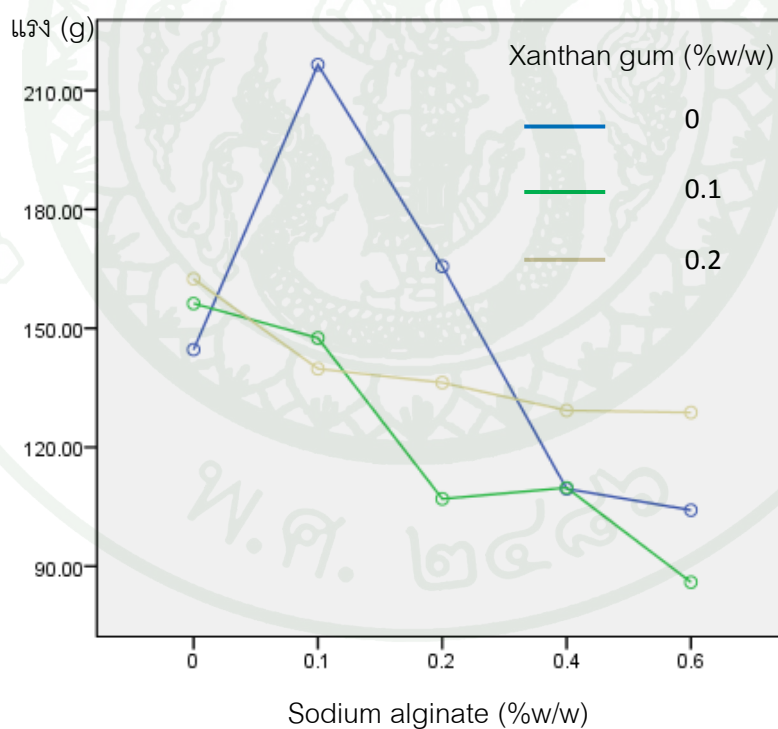
315 : .....



ตารางผนวกที่ ง1 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการเติมแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจิเนตต่อค่าแรงที่ประเมินได้จากการวัดเนื้อสัมผัส

SOV	df	SS	MS	F	Sig
Intercept	1	556799.257	556799.257	4.922E3	0.000*
xanthan gum (xa)	2	3727.067	1863.533	16.474	0.000*
sodium alginate (al)	4	15811.183	3952.796	34.942	0.000*
xa*al	8	9532.255	1191.532	10.533	0.000*
rep	1	954.793	954.793	8.440	0.012*
Error	14	1583.721	113.123		

หมายเหตุ \* = Significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p \leq 0.05$ )



ภาพผนวกที่ ง1 แผนภาพค่าแรงของไข่ขาวที่เติมแซนแทนกัมและโซเดียมแอลจิเนต หลังการแช่เยือกแข็งและให้ความร้อนซ้ำ

**ตารางผนวกที่ ๓2** วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการเติมแทนแทนกัมและโซเดียมแอลจิเนตต่อค่าระยะทางที่ประเมินได้จากการวัดเนื้อสัมผัส

SOV	df	SS	MS	F	Sig
Intercept	1	2298.100	2298.100	788.154	0.000*
xanthan gum (xa)	2	2.312	1.156	0.396	0.680 <sup>ns</sup>
sodium alginate (al)	4	1.719	0.430	0.147	0.961 <sup>ns</sup>
xa*al	8	3.717	0.465	0.159	0.993 <sup>ns</sup>
rep	1	3.767	3.767	1.292	0.275 <sup>ns</sup>
Error	14	40.821	2.916		

หมายเหตุ \* = Significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p \leq 0.05$ )

ns = Not significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๓3** วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การแยกตัวของของเหลวจากไข่ขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบช้า (-25 องศาเซลเซียส) และการแช่เยือกแข็งแบบโครโอเจนิค (-40 องศาเซลเซียส) ที่เก็บรักษาที่ -25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60

SOV	df	SS	MS	F	Sig
Intercept	1	46368.837	46368.837	3.262E4	0.000*
freezing	1	1.499	1.499	1.055	0.339 <sup>ns</sup>
day	3	76.143	25.381	17.857	0.001*
freezing*day	3	6.037	2.012	1.416	0.316 <sup>ns</sup>
rep	1	0.020	0.020	0.014	0.909 <sup>ns</sup>
Error	7	9.949	1.421		

หมายเหตุ \* = Significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p \leq 0.05$ )

ns = Not significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๓4** วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การแยกตัวของของเหลวจากไขขาวทอดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งและไขขาวทอดแช่เยือกแข็งแบบช้า (-25 องศาเซลเซียส) และแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (-40 องศาเซลเซียส) ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน

SOV	df	SS	MS	F	Sig
Between Group	2	46.224	23.112	13.698	0.001*
Within Group	13	21.935	1.687		
Total	15	68.159			

หมายเหตุ \* = Significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p \leq 0.05$ )

ns = Not significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๓5** วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าแรงในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไขขาวแช่เยือกแข็งแบบช้า (-25 องศาเซลเซียส) และการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (-40 องศาเซลเซียส) หลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน

SOV	df	SS	MS	F	Sig
Intercept	1	564121.392	564121.392	5.753E3	0.000*
freezing	1	3044.264	3044.264	31.046	0.001*
day	3	5922.675	1974.225	20.133	0.001*
freezing*day	3	1253.775	417.925	4.262	.052*
rep	1	38.442	38.442	0.392	0.551
Error	7	686.406	98.058		

หมายเหตุ \* = Significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p \leq 0.05$ )

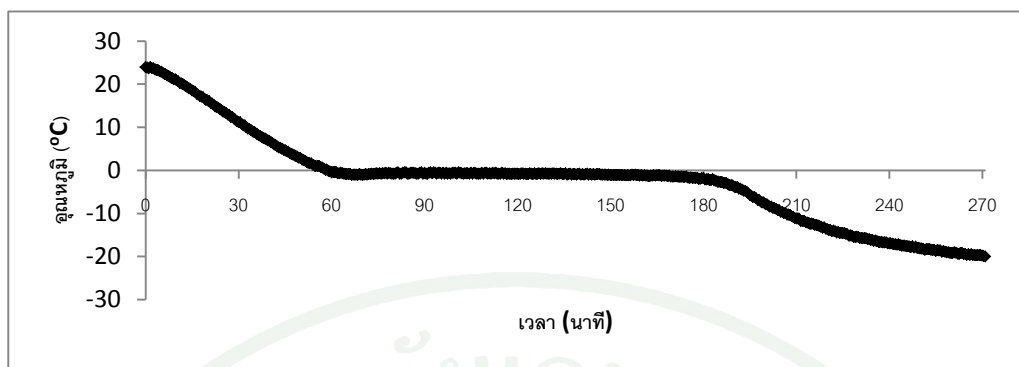
**ตารางผนวกที่ 6** วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าระยะทางในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไข่ขาวแช่เยือกแข็งแบบช้า (-25 องศาเซลเซียส) และการแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (-40 องศาเซลเซียส) หลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน

SOV	df	SS	MS	F	Sig
Intercept	1	1322.029	1322.029	1.052E3	0.000*
freezing	1	1.987	1.987	1.581	0.249 <sup>ns</sup>
day	3	19.631	6.544	5.205	0.033*
freezing*day	3	6.879	2.293	1.824	0.231 <sup>ns</sup>
rep	1	0.986	0.986	0.784	0.405 <sup>ns</sup>
Error	7	8.800	1.257		

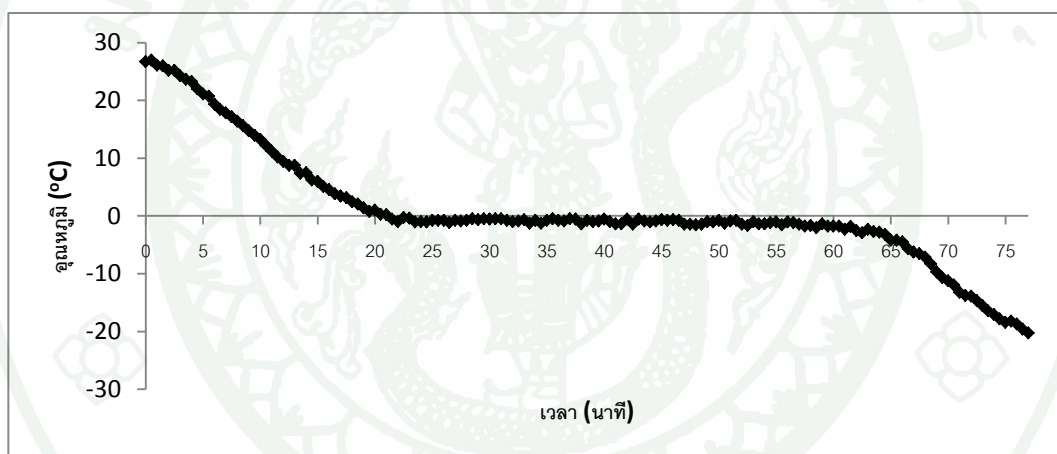
หมายเหตุ \* = Significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p \leq 0.05$ )

ns = Not significantly different at the confidence intervals of 95% ( $p > 0.05$ )





ภาพผนวกที่ จ1 แผนภาพการแช่เยือกแข็งแบบช้าที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส ของไขดาว  
แช่เยือกแข็งซึ่งวัดอุณหภูมิบริเวณใจกลางไขแดง (อัตราการแช่เยือกแข็ง 0.16  
องศาเซลเซียส/นาที)



ภาพผนวกที่ จ2 แผนภาพการแช่เยือกแข็งแบบไดโครโอเจนิคที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสของ  
ไขดาวแช่เยือกแข็งซึ่งวัดอุณหภูมิบริเวณใจกลางไขแดง (อัตราการแช่เยือกแข็ง  
0.61 องศาเซลเซียส/นาที)

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววิภาศิริ สุวรรณผล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	31 พฤษภาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ มหาวิทยาลัยบูรพา
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	เข้าร่วมเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ในงาน Food Innovation Asia Conference 2013 Empowering SMEs through Science and Technology
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-