ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของอุณหภูมิและชนิดของด่างต่อความคงตัวของเจลไข่ขาว

(The effect of temperature and alkalis on stability of egg white gel)

โดย

นางสาวฉกลวรรณ พิรุณสาร

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 15 มิถุนายน 44 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(เชาวลักษณ์ สุราฟ้านธำรัศมี)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

(

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17483

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของอุณหภูมิและชนิดของด่างต่อความคงตัวของเจลไข่ขาว

(The effect of temperature and alkalis on stability of egg white gel)

T096769

นางสาวฉกลวรรณ พิรุณสาร

รหัส 40044427

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ปพ.
ฉ118ผ
2544

เลขหมู่.....96769
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถกลวรรณ พิรุณสาร . 2543 ผลของอุณหภูมิและชนิดของด่างต่อความคงตัวของเจลไข่ขาว (The effect of temperature and alkalis on stability of egg white gel) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,64 หน้า
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์

ไข่ขาวจะมีความหนืดและลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำให้ความเป็นกรด-ด่างในไข่ขาวเพิ่มขึ้นจนเมื่อถึงช่วง pH 11.5-13.5 โปรตีนในไข่ขาวเกิดการคลายตัวและโมเลกุลยืดตัวออกจะจับตัวกันอย่างช้าๆ โดยใช้พันธะไดซัลไฟด์ พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิกหรือพันธะไฮโดรโฟบิก เกิดเป็นเจลขึ้น การรวมตัวที่เป็นระเบียบจะได้เจลที่ใส ยืดหยุ่น ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อนำมาทำการศึกษาการผลิตเจลโปรตีนไข่ขาว พบว่า การใช้ไข่ขาวจากไข่นกกระทาเป็นวัตถุดิบจะได้เจลโปรตีนที่มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงสุดถึงร้อยละ 78.6 ขณะที่ไข่เป็ดมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเพียงร้อยละ 47.5 แต่เมื่อเปรียบเทียบราคา ความสะดวกในการปฏิบัติการแยกไข่แดงและไข่ขาวแล้ว พบว่าไข่ขาวจากไข่เป็ดเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเจลโปรตีนมากกว่า

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสจะทำ ให้เกิดเจลโปรตีนที่มีลักษณะดีที่สุด คือ มีความยืดหยุ่น คงตัว และ pH ต่ำ เมื่อนำเจลไข่ขาวที่ได้มาทำเป็นผลิตภัณฑ์ในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตย พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มี ความเข้มข้นเจลที่ร้อยละ 15 จะมีค่าคะแนนการยอมรับสูงสุด โดยมีสี กลิ่นรสชาติ ความข้น และการยอมรับรวมเป็น 3.8 , 3.4 , 3.6, 3.6 และ 3.8 ตามลำดับ

ถกลวรรณ พิรุณสาร		15 มี.ค. 44
ลายมือชื่อนักศึกษา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่อง ผลของอุณหภูมิและชนิดของด่างต่อความคงตัวของเจลไข่ขาว สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าคอยแนะนำให้คำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่ รวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้นด้วย

นอกจากนี้การปฏิบัติการทดลองที่สำเร็จไปได้ ด้วยความเอื้ออำนวยความสะดวกด้วยดีแสมอมาเป็นอย่างยิ่งจากนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ประจำโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่และสละกำลังทรัพย์ให้แก่ข้าพเจ้าในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ขอขอบคุณเพื่อนและพี่ทุกๆ คนที่ให้กำลังใจเสมอมา

นางสาวถกลวรรณ พิรุณสาร

11 มีนาคม 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	2
2.1 ไข่ขาว	2
2.2 เจล	13
2.3 คุณสมบัติของโปรตีน	15
2.4 การศึกษาทดลองเกี่ยวกับไข่เยี่ยวม้า	22
3. อุปกรณ์และวิธีการ	30
4. ผลการทดลอง	33
5. สรุปและข้อเสนอและผลการทดลอง	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้าในส่วนต่างๆของไข่	4
2	แสดงอัตราส่วนและปริมาณความชื้นในไข่ขาว	4
3	แสดงชนิดและคุณลักษณะของโปรตีนในไข่ขาว	5
4	แสดงสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนในไข่	9
5	แสดงเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรทที่มีอยู่ในไข่ขาว	10
6	แสดงปริมาณและชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในโปรตีนชนิดต่างๆในไข่ขาว	11
7	แสดงส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆในไข่ขาวที่พบในไข่ทั้งฟอง	11
8	แสดงแร่ธาตุที่มีในไข่ขาว	12
9	แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการรวมเป็นวุ้นของไข่ขาว	20
10	แสดงอุณหภูมิที่ทำให้ไข่ขาวและไข่แดงรวมตัว	21
11.	แสดงผลของ pH ที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาว	23
12.	แสดงผลของความเข้มข้นของด่างที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวโดยใช้ปริมาณของไข่ขาวคงที่	24
13.	แสดงการทำ Formal titrations ของไข่ขาวซึ่งเติมด่างในปริมาณต่างๆกัน	27
14.	แสดงน้ำหนัก ความเป็นกรด-ด่างและลักษณะปรากฏของเจลโปรตีนที่ได้จากไข่ 3 ชนิด	34
15.	แสดงผลของสารละลาย ด่าง 3 ชนิดที่ pH 12.5 ที่มีผลต่อการเกิดเจลโปรตีนจากไข่เป็ดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส	35
16.	แสดงความคงตัวของเจลโปรตีนจากไข่เป็ดเมื่อใช้ความร้อนทำให้สุกที่อุณหภูมิและแช่น้ำที่สภาวะต่างๆ	36
17.	แสดงค่าเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเจลโปรตีนที่ความเข้มข้นระดับต่างๆกัน	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

1. แสดงโครงสร้างภาพตัดตามขวางของไข่ทั้งฟอง 2
2. แสดงปริมาณกรดอะมิโนต่างๆเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนทั้งหมดในไข่ไก่ 9
3. แสดงการเกิดเจลโดยการรวมตัวของโปรตีนโกลบูลาร์ (globular protein) 14
4. แสดงรูปทรงของไดเมอร์ในการเกิดสายโพลีเมอร์เส้นตรงของโอวัลบูมิน 14
5. แสดงปฏิกิริยาระหว่าง เมททัลไอออน (M^{+n}) และโปรตีน ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอน (protein precipitation) 17
6. แสดงปฏิกริยาระหว่าง เมททัลไอออน(M^{+n}) และโปรตีนเกิดขึ้นที่ หมู่ซัลไฮดิล 18
7. แสดงการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ (Denaturation) และการคืนสู่สภาพธรรมชาติ (Renaturation) ของโปรตีน (globular protein) 19
8. แสดงความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาว 25
9. แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาว 25
10. แสดงผลของ pH ที่มีต่อความหนืดของไข่ขาว 28
11. แสดงผลของ pH ที่เป็นด่างที่มีต่อ optical density ของไข่ขาว 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ไข่เป็นแหล่งอาหารที่ให้โปรตีนที่มีคุณค่าสูง โปรตีนมีทั้งในไข่ขาวและไข่แดง โปรตีนของไข่ประกอบด้วยกรดอะมิโนครบทุกชนิดตามที่ร่างกายต้องการในปริมาณสูง นักโภชนาการจึงมักใช้ไข่เป็นมาตรฐานในการวัดคุณค่าของโปรตีนในอาหารอื่นๆ ไข่ขาวนอกจากมีโปรตีนในปริมาณสูงแล้ว ยังมีวิตามินบีสิบสองสูงอีกด้วย (รัชนี,2532) นอกจากนี้ไข่ขาวยังมีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรรมอาหาร เช่น เป็นส่วนประกอบสำคัญในการช่วยให้เกิดโฟม เพิ่มความข้นหนืด เพิ่มสี กลิ่น และรสชาติในอาหาร เป็นต้น

โปรตีนในไข่ขาว จะเปลี่ยนสภาพไปด้วยหลายสาเหตุ เช่น ความร้อน ความเป็นกรด และความเป็นด่าง ซึ่งจะทำให้ไข่ขาวเปลี่ยนสภาพเป็นวุ้นใส (translucent gel) ยืดหยุ่น มีลักษณะที่ดี ซึ่งต้องมีปัจจัยที่เหมาะสม ได้แก่ ความเข้มข้นของด่าง ความร้อนที่ใช้ เป็นต้น จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลและความคงตัวของเจล เพื่อสามารถพัฒนารูปแบบการบริโภคอาหารไข่ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาชนิดของไข่ที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลโปรตีน โดยใช้ ไข่ไก่ ไข่เป็ด และ ไข่นกกระทา
2. ศึกษาชนิดของสารละลายด่างที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลโปรตีนไข่ขาว
3. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อความคงตัวของเจลโปรตีนไข่ขาว
4. ศึกษาการนำเจลโปรตีนไข่ขาวผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

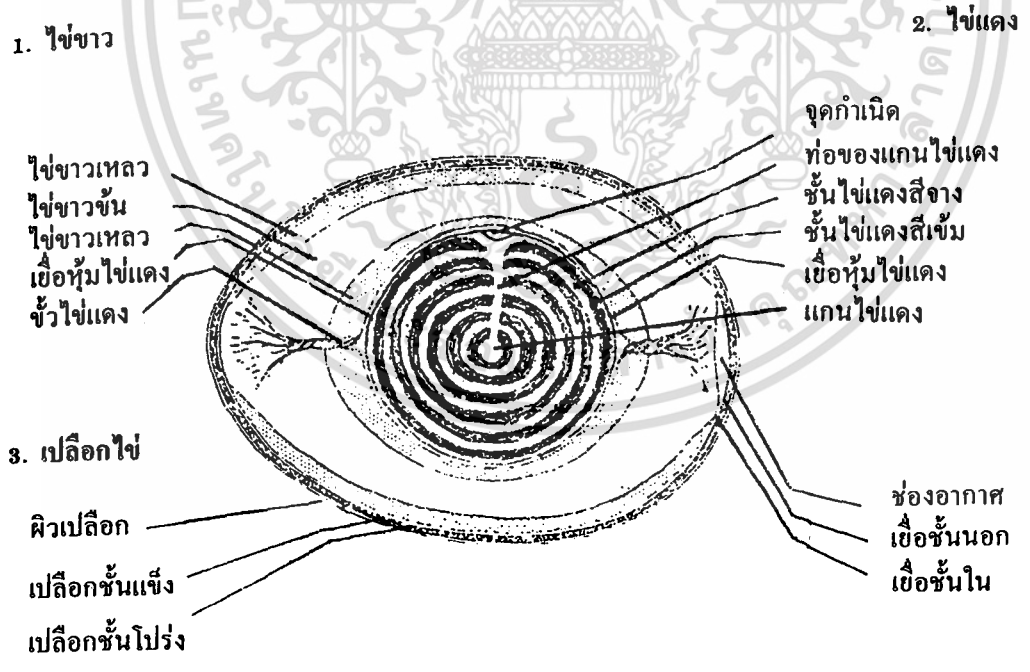
บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ไข่ขาว (Albumen)

ไข่ขาวได้ชื่อดังนี้เพราะเมื่อไข่ขาวรวมตัว (Coagulation) จะเป็นสีขาว (albus = white) ปริมาณไข่ขาวมีประมาณ 60% ของเนื้อไข่ทั้งฟอง ไข่ขาวที่มีสีเหลืองอ่อนเนื่องจากสีของโอโวฟลาวิน (ovoflavin) ฟองของไข่ขาวบางทีก็มีสีชมพูหรือสีเขียวอ่อน เนื่องจากอาหารบางชนิดที่ใช้เลี้ยง ไข่ขาวนี้มีส่วนที่เป็นส่วนเหลวใสกับส่วนที่ข้น และยังมีส่วนที่ข้นอีกส่วนหนึ่งที่ห่อหุ้มไข่แดงกับที่เป็นขั้วไข่แดง

2.1.1 โครงสร้างของไข่ขาว ส่วนต่างๆของไข่ขาว แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนดังนี้แสดงดังรูปที่ 1

- เยื่อขั้วไข่แดง (chalaziferous) ร้อยละ 27.0
- ไข่ขาวข้น (dense albumen) ร้อยละ 57.8
- ไข่ขาวใสชั้นใน (inner liquid) ร้อยละ 16.8
- ไข่ขาวใสชั้นนอก (outer liquid) ร้อยละ 23.2



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างภาพตัดตามขวางของไข่ทั้งฟอง
ที่มา : สุวรรณ ,2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. เยื่อขั้วไข่แดง (Chalaziferous) ประมาณร้อยละ 40 ของไข่ขาว เป็นส่วนที่ค่อนข้างใสเหลว ที่เหลือคือไข่ขาวข้นที่มาห่อหุ้มโดยรอบเยื่อหุ้มไข่แดง (vitelline membrane) และมีส่วนที่เป็นขั้วไข่แดง (Chalazae) ซึ่งขดเป็นเกลียวอยู่ที่หัวท้ายตามแกนยาวของไข่แดง น้ำหนักของเยื่อขั้วไข่แดงในไข่ฟองหนึ่งหนักไม่เกิน 1 กรัม น้ำหนักของตัวขั้วทั้งสองข้าง (chalazae) นี้ประมาณ 0.15 กรัม

ข. ไข่ขาวใสชั้นใน (Inner liquid layer) เป็นชั้นไข่ขาวและใสมีปริมาณร้อยละ 16.8 ของไข่ขาวทั้งหมด ภายในชั้นนี้ไม่มีเส้นใยมิวซิน (mucin fiber) อยู่ด้วยเลย เป็นชั้นที่เยื่อขั้วไข่แดงโยงยึดไข่แดงให้ลอยอยู่ตรงกลางฟองไข่

ค. ไข่ขาวข้น (Dense albumen) อยู่ถัดไข่ขาวใสชั้นในออกมา เป็นชั้นหรือถุงไข่ขาวข้นๆ ที่ห่อหุ้มไข่แดงกับไข่ขาวในตอนใน ความข้นของตัวมันจะช่วยประคองไข่แดงและน้ำไข่ขาวใสตอนในให้แขวนลอยอยู่ และให้พ้นอันตรายจากการกระทบกระทั่ง ไข่ขาวส่วนนี้มีปริมาณประมาณร้อยละ 57.3 ของจำนวนไข่ขาวทั้งหมด เส้นใยมิวซินของชั้นนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญของไข่ขาวข้นและไปเชื่อมยึดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นในที่ด้านป้านกับด้านแหลมของฟองไข่

ง. ไข่ขาวใสชั้นนอก (Outer liquid layer) มีปริมาณร้อยละ 23.2 % ของปริมาณของไข่ขาวทั้งหมดอยู่รอบๆด้านข้างของไข่ขาวส่วนข้น เว้นแต่ที่ตรงหัวและท้ายของฟองไข่ ส่วนประกอบไข่ขาวชั้นนอกนี้เช่นเดียวกับชั้นในผิดกันแต่มีเส้นใยมิวซินบ้างเล็กน้อย

2.1.2 ส่วนประกอบของไข่ขาว

ส่วนประกอบสำคัญในไข่ขาว

ส่วนประกอบสำคัญของไข่ขาวคือโปรตีนซึ่งจะผันแปรไปตามอายุสัตว์ พบว่าโปรตีนในไข่ขาวจะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.09 กรัมต่อไข่ซึ่งมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กรัม ส่วนไขมันในไข่ขาวมีปริมาณต่ำมาก สำหรับคาร์โบไฮเดรทจะพบในรูปของ กลูโคส (glucose) ประมาณร้อยละ 0.4 และพบในรูปของไกลโคโปรตีน (glycoprotein) เช่น แมนโนส (mannose) และ กาแลคโตส (galactose) ประมาณร้อยละ 0.5 ตามตารางที่ 1

ก. น้ำ

เป็นส่วนประกอบหลักของไข่ขาวตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 ความชื้น (moisture) จะลดลงเป็นลำดับจากชั้นนอกสุด คือไข่ขาวใสชั้นนอก (outer liquid) ไข่ขาวใสชั้นใน (inner liquid) ไข่ขาวข้น (dense albumen) และ เยื่อขั้วไข่แดง (chalaziferous) ซึ่งเป็นไข่ขาวชั้นในสุดที่มีความข้นมากที่สุด ปริมาณของไข่ทั้งหมด (total solid) ของไข่ขาวจะอยู่ในช่วงร้อยละ 11-13 โดยจะผันแปรไปตามชนิดและอายุของสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้าในส่วนต่างๆของไข่

ส่วนของไข่	โปรตีน (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	น้ำ (ร้อยละ)
ไข่ขาว	9.7-10.6	0.03	0.4-0.9	0.5-0.6	88.0
ไข่แดง	15.7-16.6	31.8-35.5	0.2-1.0	1.1	48.0
ไข่ทั้งฟอง	12.8-13.4	10.5-11.8	0.3-1.0	0.8-1.0	65.0-75.0

ที่มา : รัชนี , 2532

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนและปริมาณความชื้นในไข่ขาว

ชั้น (layer)	ปริมาณร้อยละไข่ขาว (Albumin)		ความชื้น (Moisture) ร้อยละ
	ช่วง (Range)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	
ไข่ขาวใสชั้นนอก	10-16	23.3	88.8
ไข่ขาวข้น	30-80	57.3	87.6
ไข่ขาวใสชั้นใน	1-40	16.3	86.4
เยื่อขั้วไข่ขาว	-	-	84.3

ที่มา : รัชนี,2532

ข. โปรตีนในไข่ขาว

ไข่ขาวประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิด เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยเส้นใยโอโวมิวซินอยู่ในสารละลายที่เป็นน้ำของโปรตีนโกลบูลาร์หลายชนิด ส่วนประกอบไข่ขาวข้นและไข่ขาวเหลวจะต่างกันที่ปริมาณของโอโวมิวซินเท่านั้น โปรตีนสำคัญของไข่ขาวสามารถแยกได้โดยการแยกลำดับส่วนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต และทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส และไดเอธิลอะมิโนเอธิลเซลลูโลส ชนิด ปริมาณ คุณสมบัติและลักษณะบางอย่างของโปรตีนของไข่ขาว แสดงตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงชนิดและคุณลักษณะของโปรตีนในไข่ขาว

โปรตีน	มีในไข่ (ร้อยละ)	Isoelectric points	น้ำหนักโมเลกุล	คุณลักษณะ
Ovalbumin	54	4.6-4.8	45,000	Phosphoglycoproteinรวมตัว
Conalbumin	13	6.6	80,000	(Chelation)กับพวกโลหะโดย เฉพาะเหล็ก ทองแดงและ สังกะสี
Ovomucoid	11	3.9-4.3	28,000	ยับยั้งเอ็นไซม์ทริพซิน (trypsin)
Lysozyme(G1-globulin)	3.5	10.7	14,600	ทำให้เซลแบคทีเรียแตก
G2 globulin	4.0	5.5	30,000-45,000	-
G3 globulin	4.0	5.8	-	-
Ovamucin	1.5	-	-	Sialoprotein
Avidin	0.05	9.5	53,000	รวมตัวกับ Biotin
Ovoglycoprotein	0.5	3.9	24,000	Sialoprotein
Ovomacroglobulin	0.5	4.5-4.7	760,000-900,000	
Ovoinhibitor	0.01	5.2	44,000	ยับยั้งเอ็นไซม์ที่ย่อยโปรตีนได้ หลายชนิด
Flavoprotein	0.8	4.1	35,000	รวมตัวกับ Riboflavin
Apoprotein	0.8	3.9-4.1	3,200-3,600	ขนถ่าย Riboflavin

ที่มา : Froning , 1988

- โอวัลบูมิน (Ovabumin) เป็นโปรตีนที่มีอยู่มากที่สุดในไข่ขาวคือประมาณร้อยละ 54 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 45,000 โปรตีนชนิดนี้เป็นพวกฟอสโฟไกลโคโปรตีน (Phosphoglycoprotein) คือ มีคาร์โบไฮเดรทและฟอสเฟตประกอบอยู่โดยมีไดซัลไฟด์ 2 กลุ่มต่อ 1 โมเลกุล สำหรับคาร์โบไฮเดรทที่พบมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1560-1580 ซึ่งประกอบไปด้วย ดี-แมนโนส (D-mannose) ร้อยละ 2 และ 2-อะมิโน-2-ดีออกซี-ดี-กลูโคส (2-amino-2-deoxy-D-glucose) ร้อยละ 1.2 โดยจะเกาะติดกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีเปปไทด์ (Polypeptide) ตรง แอสพาราจีน (asparagine) โอวัลบูมิน มี จุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ที่ pH 4.6-4.3 ถูกทำให้ตกตะกอนได้โดยสาร ต่างๆ หรือโดยการเขย่า แต่มีความคงทนต่อความร้อนที่ pH 9 เมื่อให้ความร้อนอุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียสในระยะเวลานาน 3.5 นาทีทำให้ โอวัลบูวิน เปลี่ยนแปลงได้เพียงร้อยละ 3-5 และจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเลยที่ pH 7

- คอนอัลบูมิน (Conalbumin) พบในไข่ขาวปริมาณร้อยละ 13 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 80,000 ในโมเลกุลของคอนอัลบูมินไม่มีฟอสฟอรัสและหมู่ซัลไฟดริล (sulfhydryl groups)ในโมเลกุลอยู่เลย แต่พบว่าประกอบไปด้วยเฮกโซส (hexose) ร้อยละ 0.8 และเฮโซซามีน(hexosamin)ร้อยละ 1.4

คอนอัลบูมินมีจุดไอโซอิเล็กตริก ที่ pH 6.6 โปรตีนชนิดนี้ทนความร้อนได้ไม่ดีเท่าโอวัลบูมิน แต่ทนทานต่อการ ตกตะกอน(coagulation) เนื่องจากการตีหรือกวนได้ดีกว่า ที่ pH มากกว่า 6 โลหะที่มีวาเลนซีสองและสาม โดยเฉพาะ Fe(III), Al(III), Cu(II) และ Zn(II) จำนวน 2 อะตอมรวมเป็นสารประกอบกับคอนอัลบูมิน ให้สีแดง ไม่มีสี เหลือง และไม่มีสี ตามลำดับ สารประกอบเหล่านี้จะทนทานต่อความร้อนและการย่อยสลาย การเกิดเป็นสารประกอบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาที่เรียกว่า คีเลชั่น (Chelation) เป็นการรวมตัวกันของโลหะ ฟีโนลิคไฮดรอกซิล (phenolic hydroxyl group) 3 หมู่ และคาร์บอเนตไอออน (Carbonate ion) 1 ตัว โดยมี หมู่ไนโตรเจน (nitrogen groups) เข้าไปเกี่ยวข้องด้วย

- โอโวมิลคอยล์ (Ovamucoid) เป็นพวกไกลโคโปรตีนคือโปรตีนที่มีคาร์โบไฮเดรทประกอบอยู่ด้วย ส่วนประกอบคาร์โบไฮเดรทของโอโวมิวคอยด์ คือ ดี-กาแลกโตส (D-galactose) ร้อยละ 1.0-1.5 ดี-แมนโนส (D-mannose) ร้อยละ 4.3-4.7 2-อะมิโน-2-ดีออกซิกลูโคส (2-amino-deoxyglucose) ร้อยละ 1.25-15.4 กรดไซลิกร้อยละ 0.4-4 คาร์โบไฮเดรทที่มีอยู่เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides) ซึ่งแต่ละตัวจะติดกับโพลีเปปไทด์ (polypeptide) โดยทางแอสพาราจินิล เรซิดิว (asparaginyl residue) โพลีเปปไทด์ซึ่งมีพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) 8 พันธะประกอบด้วยโซ่โพลีเปปไทด์ที่มีโครงสร้างรูปเฮลิกซ์ (helical structure) ร้อยละ 22

โอโวมิลคอยด์ พบในไข่ขาวประมาณร้อยละ 12 โดยมีน้ำหนักโมเลกุล 27,000-29,000 และมีจุดไอโซอิเล็กตริก ที่ pH 3.9-4.3 โปรตีนชนิดนี้ทนความร้อนได้ดีมากแม้จะให้ความร้อนนานเป็นชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าความหนืดเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก นอกจากนี้โอโวมิลคอยด์ ยังเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนและทริปซิน (trypsin) ในสารละลายที่เป็นกรดโอโวมิลคอยด์สามารถทนต่อความร้อนได้ดีมาก แต่ในสารละลายที่เป็นด่าง (pH ประมาณ 9) โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายมากเมื่อทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โอโวมิวคอยด์เป็นโพลีเปปไทด์ชนิดโซ่เดี่ยวซึ่งเป็นแบบเฮลิกซ์ (helix) และ แรนดอม คอยล์ (random coils) โดยที่ทุกๆ 11 ตัวของกรดอะมิโนที่ต่อกันเป็นลูกโซ่จะมีไดซัลไฟด์ (disulfide) เชื่อมอยู่ 1 ตัวและในแต่ละโซ่ จะมีทั้งหมด 8 ไดซัลไฟด์ ลิงค์เกจ (disulfide linkage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไลโซไซม์ (Lysozyme) เป็นเอนไซม์ที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และประกอบด้วยองค์ประกอบที่สามารถแยกโดย cation-exchange chromotography มีจุดไอโซอิเล็กตริก เท่ากับ 10.7 ซึ่งสูงกว่าโปรตีนตัวอื่นๆของไข่ขาวมาก และมีน้ำหนักโมเลกุล 14,300-14,600

ไลโซไซม์ประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งหมด 129 ตัว พันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bonds) 4 พันธะ แต่ไม่มีหมู่ซัลไฮดิล (sulfhydryl groups) มีความคงตัวสูงต่อสารต่างๆ แต่ในสารละลายด่างจะถูกยับยั้ง (inactivated) ได้โดยทองแดงและสารเคมีหลายชนิด อย่างไรก็ตามการยับยั้งปฏิกิริยาของ ไลโซไซม์จะขึ้นกับ pH และอุณหภูมิ โปรตีนชนิดนี้จะทนความร้อนได้น้อยกว่าเมื่ออยู่ตามลำพังในสารละลายบัฟเฟอร์ของฟอสเฟต ระหว่าง pH 7 และ pH 9 ไข่ขาวที่ต้มเป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 63.5 องศาเซลเซียส ไลโซไซม์จะถูกทำลายมากขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 7

- โอโวมิวซิน (Ovomucin) เป็นไกลโคโปรตีน ซึ่งมีส่วนในการทำให้ไข่ขาวข้นมีลักษณะคล้ายเจล (gel-like structure) ซึ่งมีอยู่ในไข่ขาวข้น (thick white) มากเป็น 4 เท่าของไข่ขาวเหลว (thin white) โดยเฉลี่ยแล้วโอโวมิวซินในไข่ขาวพบประมาณร้อยละ 1.5 ซึ่งจะพบในไข่เป็ดปริมาณต่ำกว่าในไข่ไก่และไข่ไก่งวง เมื่อเจือจางไข่ขาวด้วยน้ำ 2-3 เท่า (pH 6-8) หรือลดความเป็นกรดด่างของไข่ให้มี pH 4 จะทำให้โอโวมิวซินตกตะกอน ซึ่งตะกอนนี้จะละลายได้ในสารละลายที่ pH 4 หรือในสารละลายด่าง โอโวมิวซินประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ตัว ซึ่งปริมาณของคาร์โบไฮเดรทของไกลโคโปรตีนที่ทำให้บริสุทธิ์และมีประมาณร้อยละ 30 โดยมีเฮกโซซามีนร้อยละ 10-12 และกรดไซลิกร้อยละ 2.6-8

โดยปกติโปรตีนชนิดนี้จะทนทานต่อความร้อนได้ดี พบว่าที่ pH 7.1 และ pH 9.8 โอโวมิวซินจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือ Optical density เมื่อทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง โอโวมิวซินสามารถรวมตัวกับไลโซไซม์ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายในน้ำ (ovomucin-lysozyme complex) ซึ่งเชื่อกันว่ามีผลอย่างมากกับไข่ขาวที่มีการเหลวมากขึ้น (thining) โดยเฉพาะในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีระหว่าง pH 7.2-10.4 ซึ่งเป็นช่วงที่ไข่สูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ pH สูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ประมาณ pH 9 อย่างไรก็ตามเมื่อ pH สูงกว่า 10.4 สารประกอบดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ช้าลง นอกจากนี้ โอโวมิวซินยังประกอบไปด้วย กาแลคโตส (galactose) ร้อยละ 9.3 แมนโนส (mannose) ร้อยละ 1.4 กลูโคซามีน (glucosamine) ร้อยละ 9.1 กาแลคโตซามีน (galactosamine) ร้อยละ 4.8 และกรดไซอะลิค (sialic acid) ร้อยละ 8.7

- อะวิดิน (Avidin) เป็นโปรตีนที่พบในไข่ขาวประมาณร้อยละ 0.05 น้ำหนักโมเลกุล 48,000-66,000 และมีจุดไอโซอิเล็กตริก ที่ pH 9.5-1. อะวิดิน 1 โมเลกุลประกอบด้วย ไบโอติน 3 โมเลกุล ไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่ำๆ โปรตีนชนิดนี้ค่อนข้างคงตัวถึงแม้ว่า pH จะเปลี่ยนแปลงไปแต่จะถูกยับยั้งปฏิกิริยาได้เมื่อถูกกับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โอโวโกลบูลิน (Ovaglobulins) ประกอบไปด้วย ไลโซไซม์ , G2 และ G3 เฉพาะ G2 มีน้ำหนักโมเลกุล 35,000 และมีจุดไอโซอิเล็กตริกที่ pH 5.5 โอโวโกลบูลินมีคุณสมบัติทำให้เกิดฟองได้ (foam-forming property) เมื่อถูกความร้อนโปรตีนชนิดนี้จะตกตะกอน

- โอโวอินฮิบิเตอร์ (Ovoinhibitor) เป็นโปรตีนที่ยับยั้งปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน โดยเฉพาะพวก ทริปซิน (trypsin) , โครโมทริปซิน (chymotrypsin) และพบว่าโปรตีนชนิดนี้ไม่มีกรดไซอะลิค อยู่ในโมเลกุล

- ฟลาโวโปรตีน (Flavoprotein) และอะโพโปรตีน(Apoprotein) เป็นโปรตีนที่มีอยู่ในไข่ขาวในปริมาณเท่าๆกัน ฟลาโวโปรตีนเป็นโปรตีนที่มีไรโบฟลาวิน (riboflavin) ประกอบอยู่ด้วย แต่อะโพโปรตีนจะไม่มีไรโบฟลาวินในโมเลกุล แต่โมเลกุลของอะโพโปรตีนจะเกาะติดแน่นอยู่ กับไรโบฟลาวิน เพื่อทำหน้าที่ขนถ่ายไรโบฟลาวินจากเลือดไปยังไข่ขาว อะโพโปรตีนมีน้ำหนักโมเลกุล 32,000-36,000 และมีจุดไอโซอิเล็กตริก ที่ pH 3.9-4.1

ค. กรดอะมิโน

จำนวนกรดอะมิโนต่างๆที่พบในโปรตีนรูปต่างๆของไข่ โอโวไวเทลินเป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในไข่แดง มีองค์ประกอบพวกกรดกลูตามิค ลูซิน อาจินิน กับไลซีนมากส่วน โอวัลบิวมินที่เป็นโปรตีนสำคัญในไข่ขาวนั้นจะประกอบด้วยกรดอะมิโนพวกกรดกลูตามิค ลูซิน อะลานีน กับกรดแอสปาติค ส่วนโอโวคีราติน เป็นโปรตีนของเปลือกไข่จะมีมีกรดอะมิโนพวกอะจีนีน ซิสตีน กรดกลูตามิค กับลูซินเป็นส่วนใหญ่

โปรตีนแต่ละอย่างของไข่มีกรดอะมิโนมากน้อยต่างกันทั้งปริมาณและชนิดกรด อะมิโนชนิดลูซินมีในไข่มากที่สุดถึงร้อยละ 18 ของจำนวนกรดอะมิโนทั้งหมดในไข่ ปริมาณกรดอะมิโนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2

ง. สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Nonprotein nitrogen)

สารประกอบ ชนิดนี้มีอยู่ในไข่ฟองละประมาณ 12 มิลลิกรัม หรือคิดเป็นร้อยละได้ดังแสดงในตารางที่ 4

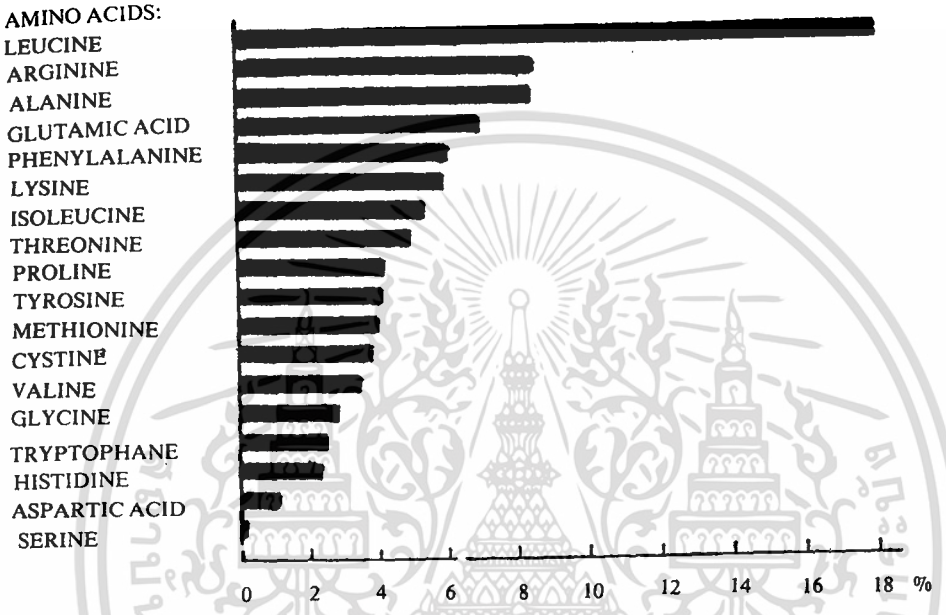
จ. คาร์โบไฮเดรท

ในไข่จะมีคาร์โบไฮเดรทน้อยมากประมาณฟองละ 0.5 กรัม ราว 3 ใน 4 ส่วนจะอยู่ในไข่ขาว ซึ่งมีทั้งชนิดที่อยู่ในรูปอิสระและที่รวมตัวกับสิ่งอื่น ในรูปอิสระนั้นจะเป็นกลูโคสหรือที่รวมกันเป็นกาแลคโตส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่รวมกับพวกลิปิด เช่น ฟอสโฟลิปิด ซีรีโปรไซด์ในไข่แดงในรูป ไกลโคโปรตีน และในรูปรวมกับโปรตีนสามัญต่างๆในไข่ขาว

การที่ไข่ขาวข้นคล้ายวุ้น เนื่องจากมีโอโวมิวซิน (ovomucin) รวมอยู่ด้วยเส้นใยของ โอโวมิวซินเป็นโครงสร้างห่อหุ้มไข่ขาวเหลวทั้งหมดไว้ดังแสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 2 แสดงปริมาณกรดอะมิโนต่างๆเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนทั้งหมดในไข่ไก่

ที่มา : สุวรรณ , 2529

ตารางที่ 4 แสดงสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนในไข่

Nonprotein nitrogen:	ร้อยละ
Basic N	88.8
Ammonia	4.2
Free amino acid N	7.0
Creatinine N	
Total	100
รวม	100

ที่มา : สุวรรณ ,2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงร้อยละคาร์โบไฮเดรทที่มีอยู่ในไข่ขาว

คาร์โบไฮเดรทในไข่ขาว	ร้อยละ
กลูโคส	0.4
คาร์โบไฮเดรทที่ผสมกับสารประกอบอื่นๆ	0.5
รวม	0.9

ที่มา : สุวรรณ ,2529

คาร์โบไฮเดรทที่รวมอยู่กับโปรตีนนั้นเป็นพวกโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ในรูปแมนโนส (mannose) กับกาแลกโตส (galactose) ยังมีผู้พบคาร์โบไฮเดรทที่รวมอยู่ในรูปต่างๆกับฟอสโฟโปรตีน (Phoshoproteins) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) และ ซีรีโปรไซด์ (cerebrosides) ของไข่แดง กับในรูปไกลโคโปรตีน (glycoproteins) และโปรตีนสามัญต่างๆในไข่ขาว

- คาร์โบไฮเดรตในไข่ขาว

โอโวคอนอัลบูมิน (ovoconalbumin) ซึ่งเป็นกึ่งคาร์โบไฮเดรทนั้น ประกอบด้วยแมนโนส 3 ส่วน กับกาแลคโตส 1 ส่วน ในโอโวมิวซินนั้นประกอบด้วยแมนโนส กับกาแลคโนสเท่าๆกันในโอโวโกลบูลิน (ovoglobulin) มีแต่แมนโนส อย่างเดียว ร้อยละของคาร์โบไฮเดรทในไข่ขาวโดยประมาณมีดังแสดงในตารางที่ 6

จ. แร่ธาตุในไข่ขาว

ไข่ขาวประกอบด้วยธาตุต่างๆหลายชนิดดังแสดงไว้ในตารางที่ 7 ปริมาณของสารเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กินรวมถึงสภาวะแวดล้อม อุณหภูมิ ฤดูกาลและอายุของสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณและชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในโปรตีนชนิดต่างๆในไข่ขาว

มีอยู่ใน	ชนิดคาร์โบไฮเดรท	ร้อยละ
Simple protein		
Ovalbumin	Mannose	1.7
Ovaoconalbumin	Mannose and Galactose	2.8
Ovoglubulin	Mannose	4.0
Glycoproteins		
Ovomucin	Mannose and Galactose	14.9
Ovamucoid	Mannose and Galactose	8.2

ที่มา : สุวรรณ ,2529

ตารางที่ 7 แสดงส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆในไข่ขาวที่พบในไข่ทั้งฟอง

แร่ธาตุ	ปริมาณร้อยละในไข่ขาว	ปริมาณร้อยละในไข่แดง
กำมะถัน (S)	0.195	0.016
โปแตสเซียม (K)	0.145-0.167	0.112-0.160
โซเดียม (Na)	0.161-0.169	0.070-0.093
ฟอสฟอรัส (P)	0.018	0.543-0.980
แคลเซียม (Ca)	0.008-0.02	0.121-0.262
แมกนีเซียม (Mg)	0.009	0.032-0.128
เหล็ก (Fe)	0.0009	0.0053-0.011

ที่มา : รัชนี , 2532

นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 8 ปริมาณแร่ธาตุที่มีอย่างละเล็กน้อย (trace element) ในไข่ไก่ Ramanoffs (1949) ได้รวบรวมไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงแร่ธาตุที่มีในไข่ขาว

แร่ธาตุ	ไข่ขาว
Aluminum (Al)	*1-0.01
Arsenic (As)	0.004-0.001
Barium (B)	*2
Bromine (Br)	0.04
Chromium (Cr)	*1
Copper (Cu)	*3
Fluorine (F)	0.02
Iodine (I)	0.0008-0.0137
Lead (Pb)	0.008-0.0019
Lithium (Li)	0.046-0.188
Manganese (Mn)	0.0014
Molybdenum (Mo)	0.0038-0.004
Rubidium (Rb)	*3
Selenium (Se)	*3
Silicon (Si)	0.28-1.14
Silver (Ag)	*3
Strontium (Sr)	*2
Titanium (Ti)	0.0028
Uranium (U)	*2
Vanadium (V)	0.0079
Zinc (Zn)	0.007

* 1 = มีน้อยมาก

* 2 = มีปรากฏ

* 3 = ไม่ค่อยปรากฏ

ที่มา : สุวรรณ ,2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เจล

2.2.1 โครงสร้างของเจล

โครงสร้างของเจลแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเจลส่วนมากมีโครงสร้างเป็นร่างแหของเส้นใยโมเลกุล ดังเช่นโพลีแซคคาไรด์ คอลลาเจน ไมโอซิน และ แอคโตไมโอซิน (Doi, 1993)

Ziegler และ Foegeding (1990) ได้แบ่งโครงสร้างพื้นฐานของเจลได้ 4 ชนิดดังต่อไปนี้

ก. โครงสร้างบางอย่างที่มีระเบียบที่ดีรวมถึงเจลที่เกิดจากการปรับปรุงในระดับปานกลาง

ข. โครงสร้างร่างแหที่เป็นพันธะโควาเลนท์ซึ่งมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบอย่างสมบูรณ์

ค. โครงสร้างร่างแหทางกายภาพ คือ มีโครงร่างไม่เป็นระเบียบอย่างเด่นชัด แต่มีรายละเอียดของส่วนต่างๆ เป็นลำดับ

ง. โครงสร้างที่มีบางส่วนไม่เป็นระเบียบ

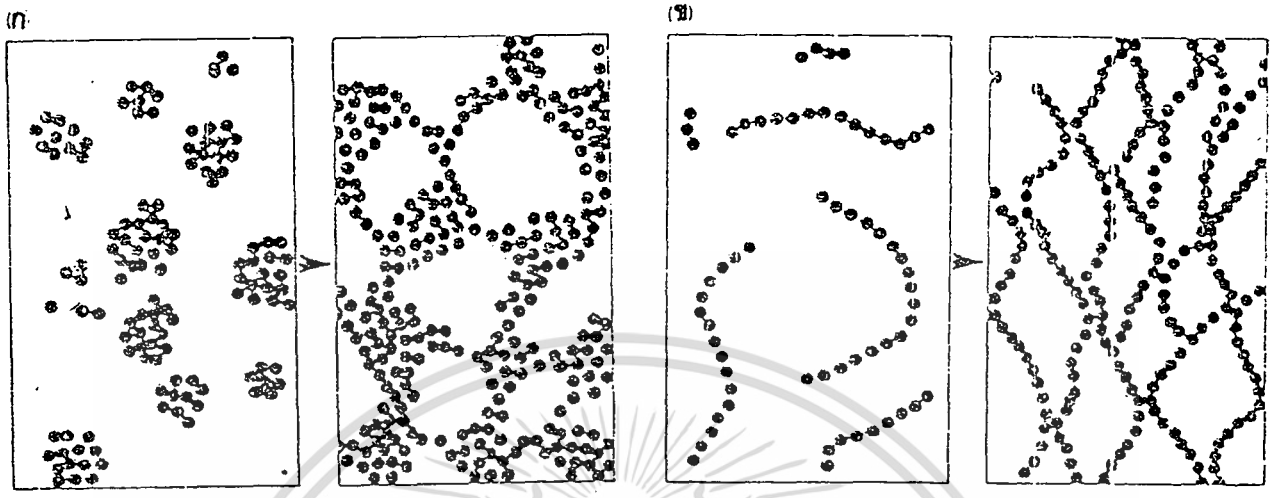
2.2.2 การเกิดเจลของไข่ขาว (globular proteins gels)ในสภาวะด่าง

ก. กลไกการเกิดเจล

การเกิดเจลของไข่ขาวในสภาวะด่างมีลักษณะการเกิดคล้ายการเกิดเจลของไข่ขาวโดยใช้ความร้อน Doi (1993) ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ระยะแรกโมเลกุลยืดตัวออกโดยพันธะที่เคยมีอยู่ในธรรมชาติได้แตกตัวออกบางส่วน ต่อมาโมเลกุลเหล่านั้นจะเข้ามาจับตัวกันเป็นตาข่าย 3 มิติ (tree dimention network) เกิดในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ในการเกิดเจลโดยใช้ความร้อน การใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสจะทำให้โมเลกุลของโปรตีนโกลบูลาร์ (globular proteins) เกิดการยืดตัวออกไม่สมบูรณ์ (non completely unfold) แต่ในสภาพวะที่เป็นด่างสูง หรือเมื่ออุณหภูมิสูงมาก จะทำให้โมเลกุลยืดตัวออกมาได้มาก จากนั้นโมเลกุลที่ยืดตัวออกจะจับตัวกันอย่างช้าๆ โดยใช้พันธะไดซัลไฟด์ พันธะไฮโดรเจน พันธะไอโอนิค หรือพันธะไฮโดรโฟบิก เกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งรูปแบบการรวมตัวกัน (aggreagation) ของโมเลกุลเป็นโปรตีนเจลมี 2 แบบ คือ การรวมตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (random aggreagation) และการรวมตัวกันเป็นสายยาวของโปรตีน เรียกว่า string beads การรวมตัวที่เป็นระเบียบของโปรตีนจะได้เจลที่ใสมากกว่า แสดงดังรูปที่ 3

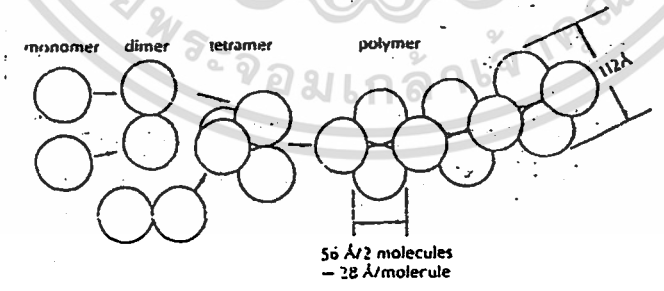
โครงสร้างของ string of beads polymer มีลักษณะเป็นเกลียวทรงกระบอกคล้ายตัวหนอน (worm-like cylinder) ของโปรตีนที่มารวมกัน ซึ่งประกอบด้วย โมโนเมอร์ (monomers) มาจับกันเป็นไดเมอร์ (dimer) และไดเมอร์จับกันเป็นเตตระเมอร์ (tetramer) และจับกันต่อไปจนเป็น พอลิเมอร์ (polymer)ในที่สุดแสดง ดังรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงการเกิดเจลโดยการรวมตัวของโกลบูลาร์โปรตีน (globular protein)
ที่มา : Doi , 1993

(ก) การรวมตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (random aggregation)
(ข) การรวมตัวกันอย่างมีระเบียบคล้ายลูกปัด (string of beads polymers)



รูปที่ 4 แสดงรูปทรงของไดเมอร์ในการเกิดสายโพลีเมอร์เส้นตรงของโอวัลบูมิน
ที่มา : Doi , 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเจลจากไข่ขาวในสภาวะด่าง

จากการผลิตไข่เยี่ยวม้า ไข่จะอยู่ในน้ำด่างซึ่งน้ำด่างนี้จะค่อยๆ ซึมผ่านเข้าไปในเปลือกไข่จนถึงไข่แดงและไข่ขาว ทำให้โปรตีนหรือกรดอะมิโนเปลี่ยนสภาพไป ไข่ขาวจึงเกิดการแข็งตัว รุจี (2530) ได้แสดงกลไก (mechanism) การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีของกรดอะมิโน (amino acid) ดังกล่าวซึ่งแสดงดังนี้

$HS\text{-}CH_2\text{-}CH(NH_2)\text{-}COOH \xrightarrow{\text{Desulfhydase}} CH_2=C(NH_2)\text{-}COOH + H_2S$

Cysteine (Amino acid)		Amino unsaturate propionic acid	Hydrogen sulfide

$CH_2=C(NH_2)\text{-}COOH+H_2O \xrightarrow{\text{Desulfhydase}} CH_3\text{-}CO\text{-}COOH + NH_3$

Amino unsaturated Propionic acid		Pyruvic acid	ammonia

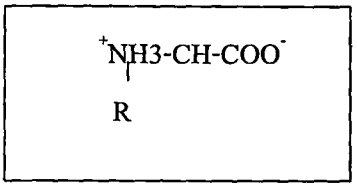
โปรตีนหรือกรดอะมิโนในไข่ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบและเอ็นไซม์ชนิดต่างๆที่มีอยู่ในไข่ เช่น ดีซัลฟีเดส (desulfhydase) ดีอะมิเนส (deaminase) ทริปซิน (trysin) และไลเปส (lypase) เป็นต้น การนำเอาไข่มาเก็บไว้ในสภาวะที่เป็นด่างระยะเวลาหนึ่ง เป็นปัจจัยเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงเพื่อทำให้ไข่มีสภาพเป็นด่างอยู่ที่ค่า pH 11.3 ถึง 11.7 ในช่วงนี้เอ็นไซม์ในไข่ เช่น ดีซัลฟีเดส (desulghydase) และ ดีอะมิเนส (deaminase) จะแปรสภาพกรดอะมิโนในไข่ให้เกิดการแข็งตัวขึ้น (denature) เปลี่ยนกำมะถันในโปรตีนให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide,H_2S) และแปรรูปหมู่อะมิโน (amino acid ,-NH_2) ของโปรตีนให้เป็นแอมโมเนีย (ammonia , NH_3) ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียที่เกิดขึ้นมีผลในด้านกลิ่นและสีที่มีลักษณะเฉพาะตัวของเจลไข่ขาว

2.3 คุณสมบัติของโปรตีน

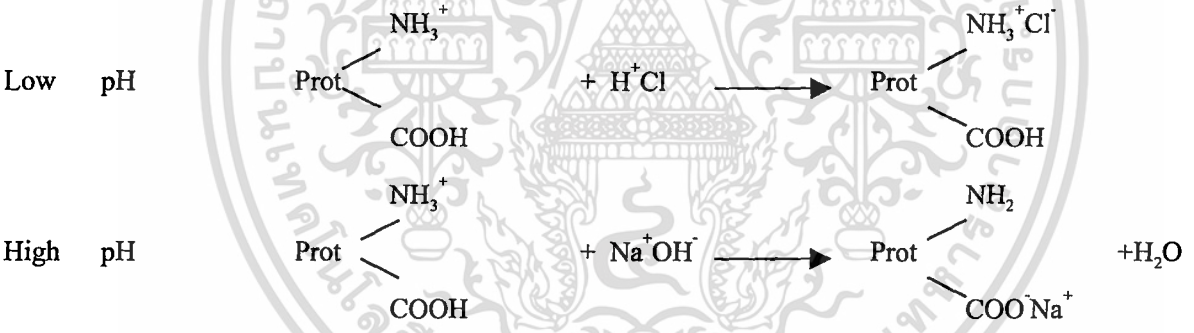
2.3.1 คุณสมบัติในการเป็นกรดและด่าง

กรดอะมิโนซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของโปรตีนมีคุณสมบัติเป็นทั้งกรดและด่าง (amphotheric properties) ในสารละลายกรดอะมิโนจะมีลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในกรณีของโปรตีนซึ่งเกิด พันธะเปปไทด์ (peptide bond) โดยการรวมตัวกันของหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) และหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของกรดอะมิโนทำให้ส่วนนั้นของเปปไทด์ไม่มีประจุ ดังนั้นประจุของโปรตีนจึงเกิดจากประจุของสายโซ่ข้าง (side chains) เช่นหมู่ -COOH ของ กรดแอสพาทิก (aspartic acid) และ กรดกลูตามิค (glutamic acid) มีประจุลบ หมู่ $-NH_2$ ของ ไลซีน (lysine) และ อาจีนีน (arginine) มีประจุบวก นอกจากนี้ หมู่อะมิโน ของ ฮีสติทีน (histidine) , ทริปโตเฟน (tryptophan) , โปรลีน (proline) และ ไฮดรอกซิลโปรลีน (hydroxyproline) ยังสามารถรับไฮโดรเจนไอออนได้ โดยปกติโปรตีนส่วนใหญ่จะมีประจุลบที่ pH สูง และจะมีประจุบวกที่ pH ต่ำดังนี้

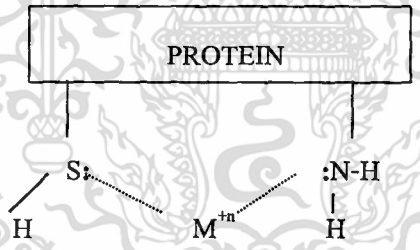


ถ้าหากว่าประจุบวกและประจุลบในสารละลายมีปริมาณเท่ากันจะทำให้ไม่มีประจุรวม สภาพเช่นนี้เรียกว่า **Zwitterion** ซึ่งจะเกิดขึ้นโดยการ บัปเฟอร์(buffered) สารละลายคือทำให้สารละลายเปลี่ยนแปลง pH น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนกรดหรือเบสที่เติมลงไป pH ที่จุดนี้เรียกว่า isoelectric point (pI) ในสภาวะเช่นนี้โปรตีนจะมีความอยู่ตัวน้อยที่สุดคือความสามารถในการละลาย ความหนืด แรงดันไฟฟ้าและแรงดันออสโมซีสจะมีค่าต่ำที่สุด โมเลกุลมีการเกาะติดกันแน่นและมีพันธะไฮโดรเจนทำให้มีความหนาแน่นยิ่งขึ้น ดังนั้นกรดอะมิโนจึงมีโอกาสทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้น้อยลงและมีการละลายต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การรวมตัวเป็นสารประกอบกับพวกโลหะ

โปรตีนสามารถรวมตัวกับแคทไอออน (cations) และแอนไอออน (anions) ได้จากปฏิกิริยาของ หมู่คาร์บอกซิล หรือหมู่อะมิโน pH สูงกว่าจุดไอโซอิเล็กตริก โปรตีนจะมีประจุบวกและจะทำปฏิกิริยากับแอนไอออน พวกเมททัลลิคไอออน (metallic ion) จำนวนมาก สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้สารประกอบร่วม (coordination compounds or complexions) โดยเกิดจากปฏิกิริยาของ อะมิโน เอน (amino N) ซึ่งเป็นส่วนของ อิมิดาโซล เอน (imidazole N) และหมู่ เอมีน (amine) ใน สายเปปไดท์ (peptide link) เมททัลลิคไอออน เหล่านี้เป็นพวก large charge radius หรือ strong eletrosatic fields ซึ่งเป็นพวก transition metal cations ได้แก่โลหะในกลุ่ม IB และ IIB เช่น Cu(II) , Ag(I) , Zn(II) แต่ Al(III) ในกลุ่ม IIIA ก็สามารถทำให้โปรตีนตกตะกอน (precipitate) เนื่องจากประจุของมันเองและการเป็น small ionic radius อย่างไรก็ตาม เมททัลแคทไอออน เกือบทั้งหมดยกเว้นพวกอัลคาไรด์เมททัล (alkali metal) (กลุ่ม IA) และ อัลคาไรด์เอิธท์เมททัล (alkali earth metals) (กลุ่ม IIA) เท่านั้นสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการตกตะกอนของโปรตีนได้ (protein precipitant activity) ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นแบบไม่จำเพาะเจาะจง (nonspecific) สำหรับปฏิกิริยาระหว่างเอ็นไซม์และ เมททัลไอออน ได้แก่ ปรอท (Hg) สารหนู (As) และพลวง (Sb) จะเกิดขึ้นอย่างจำเพาะเจาะจง (enzyme specificity)



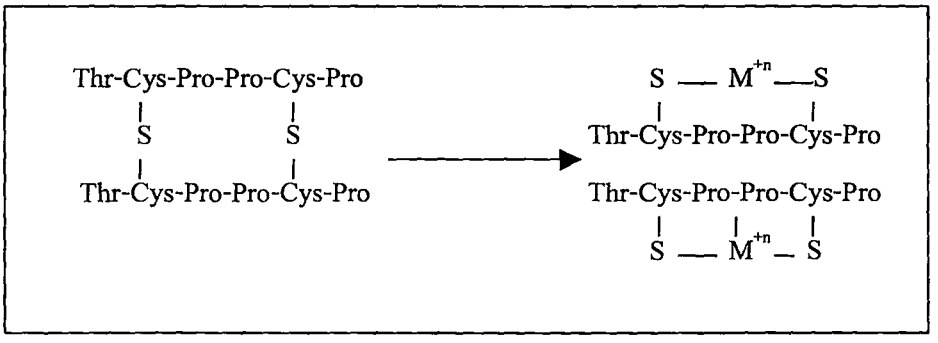
รูปที่ 5 แสดงปฏิกิริยาระหว่าง เมททัลไอออน (M^{+n}) และโปรตีน ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอน (protein precipitation)

ที่มา : วารุณี , 2532

ในกรณีของตะกั่ว (Pb) เมื่อทำปฏิกิริยากับโปรตีนจะรวมกับ cystein sulfhydryl groups ทำให้โปรตีนตกตะกอน ปฏิกิริยาทางเคมีที่ metal toxicity ทั้งหมดจากสารหนู แคดเมียม อินเดียม ทองคำขาว ดีบุก โครเมียม ปรอท บิสมัท ทัลเลี่ยม ส่วนใหญ่ก็จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่หมู่ ซัลไฮดิล (SH groups) โดยอาจแสดงได้อีกรูปแบบหนึ่งดังรูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96769



รูปที่ 6 แสดงปฏิกิริยาระหว่าง เมททัลไอออน(M^{+n}) และโปรตีน เกิดขึ้นที่ หมู่ซัลไฮดิล
ที่มา : วารุณี , 2532

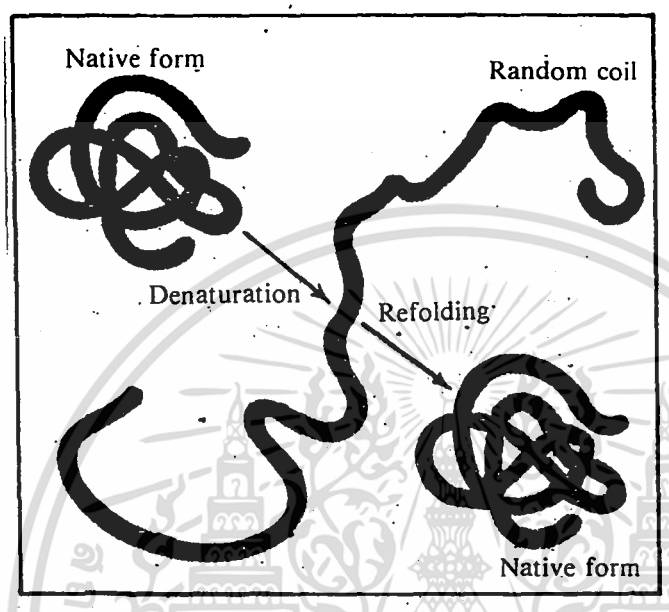
2.3.3 การรวมตัวของโปรตีน (Coagulation of protein)

โปรตีนในอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาตินั้นเรียกว่าเนทีฟโปรตีน (native protein) มีโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายเนื่องจากสภาวะหลายอย่าง เช่น ความร้อน การลด ไดอิเล็กตริกคอนสแตน (dieletric constant) โดยการเติมแอลกอฮอล์หรือพวกสารละลายที่ไม่เป็นโพลาร์ (polar) หรือการตีหรือคนแรงๆ การใช้สารเคมีต่างๆ ได้แก่ กรด ด่าง ยูเรีย(urea) , กวอนีดีน(guanidine) ไฮโดรคลอไรด์ (hydrochloride), โซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate ,SDS) เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้การทำงาน (activity) และคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีน (denatured protein) การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพการขดตัวของโมเลกุล หรือโครงรูป (conformation) และการจับกัน (aggregation) ของหน่วยย่อย โดยแรงดึงดูดที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจน(hydrogen bond), พันธะไฮโดรโฟบิค (hydrophobic bond) และแรงดึงดูดไฟฟ้า (electrostatic interaction) แรงดูดเหล่านี้จะไม่แข็งแรงจึงถูกกระทบกระเทือนได้ง่าย อย่างไรก็ตาม โปรตีนที่เสียสภาพจะยังคงมีลำดับการเรียงตัวกันของกรดอะมิโนซึ่งเกาะเกี่ยวกันด้วย พันธะโควาเลนท์ (covalent bond) ที่เหมือนเดิมเพราะเป็นแรงที่อยู่ตัวมาก

การทำลายสภาพธรรมชาตินี้เกิดจากสายโพลีเปปไทด์ (polypeptide chain) ของโมเลกุลโปรตีนที่ขดเป็นก้อนกลม (glubular protein molecules) ซึ่งปกติอยู่ในสภาพขดตัว (floded structure) มีการคลายตัว (unfolding or uncoil of unwind) ในสภาพไร้ระเบียบ (randomly looped chain) เมื่อโปรตีนเสียสภาพทางธรรมชาติไปจึงไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติคือ สูญเสียปฏิกิริยาทางชีววิทยา (biological activity) เช่น ความสามารถในการช่วยเร่งปฏิกิริยา (catalytic ability) ของเอนไซม์ โดยทั่วไปโปรตีนโกลบูลาร์ เกือบทั้งหมดถูกทำลายสภาพธรรมชาติเมื่อทำให้ร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60-70 องศาเซลเซียส เช่น การต้มไข่ ไข่ขาวแข็งตัวเป็นสีขาว (white coagulum) และไม่ละลายน้ำ บางกรณีโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาติแล้วอาจกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คืนสู่สภาพเดิมได้ (renatured) เช่น เอนไซม์บางพวกกลับทำงานได้ดังเดิมหลังจากเอาตัวทำลายสภาพนั้นออกไปซึ่งทำให้หน่วยย่อยของโปรตีนมีการจับตัวได้ดังเดิม การขดตัวของโปรตีนในสภาพธรรมชาตินั้นเป็นสภาพที่มีความอยู่ตัวมากที่สุด ดังภาพที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ (Denaturation) และการคืนสู่สภาพธรรมชาติ (Renaturation) ของโปรตีนโกลบูลาร์ (globular protein)

ที่มา : Lehninger ,1975

การเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ไดซัลไฟด์ (sulfhydryl groups) ไปเป็น หมู่ซัลไฟดริล (sulfhydryl groups) ในปริมาณต่างๆกันโดยที่ หมู่ซัลไฮดริลนี้จะอยู่ด้านนอก นอกจากนี้ หมู่ฟีโนลิค (phenolic groups) ใน ทริปซิน (trypsin) และ หมู่ไอโดล (indole groups) ใน ทริปโตเฟน (tryptophan) เพิ่มขึ้นมากขึ้น การสูญเสียสภาพทางธรรมชาติหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนนั้นเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียคุณสมบัติในการละลาย (solubility) และความข้น (thickening) หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงจากของเหลว (sol) กลายเป็นของแข็ง (solid) หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว (semisolid gel) การเปลี่ยนแปลงจากของเหลวกลายเป็นวุ้นนี้เป็นการรวมตัวกัน (coagulation or agglutination) ของโปรตีน การรวมตัวเป็นวุ้นเป็นการสูญเสียความสามารถในการละลายซึ่งเกี่ยวข้องกับความข้น (thickening) และการสูญเสียสภาพการไหลเยิ้ม (fluidity) ในบางกรณีอาจเกิดเป็นวุ้นที่ค่อนข้างอยู่ตัว(firm)ที่เรียกว่า overcoagulation หรือส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำจะถูกแยกออกจากส่วนที่เป็นก้อนแข็ง (curd)ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า syneresis สำหรับการรวมตัวกัน (agglutination) หรือแยกตัวออกจากน้ำ (separation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ส่วนประกอบของไข่ที่เกี่ยวกับการรวมตัวกัน (Coagulable Components)

โปรตีนในไข่ขาวประกอบไปด้วย โอวัลบูบิน ร้อยละ 54 คอนอัลบูมินร้อยละ 13 โอโวมิลคอยล์ร้อยละ 11 ไลโซไซม์ร้อยละ 3.5 โอโวมิวซินร้อยละ 1.5 ฟลาโวโปรตีน-อะโปโปรตีนร้อยละ 0.8 ตัวยับยั้งโปรติเนสร้อยละ 0.1 อะวิดินร้อยละ 0.05 และโปรตีนชนิดอื่นๆ อีกร้อยละ 8 โอโวมิลคอยล์เป็นโปรตีนที่ไม่สามารถทำให้เกิดการรวมตัวได้ด้วยความร้อน คอนอัลบูมินเป็นโปรตีนที่ไวต่อความร้อน (heat-sensitive) มากที่สุดแต่เมื่อรวมตัวเป็นสารประกอบกับพวกเมททัลไอออน เช่น เหล็ก หรืออลูมิเนียมก็ไม่สามารถทำให้เกิดการรวมตัวได้ด้วยความร้อน

ส่วนประกอบของโปรตีนต่างๆ ในไข่ขาวและไข่ขาวเหลว (thick and thin layers of egg white) มีปริมาณไม่ต่างกันมากยกเว้นโอโวมิวซินเท่านั้นที่ต่างกันอย่างมาก ปริมาณของมิวซินในไข่ขาวมีผลอย่างมากกับคุณสมบัติในการเกิดการรวมตัว ในส่วนเกลียวแข็งของขั้วไข่แดง มีปริมาณมิวซินสูงมากทำให้การรวมตัวเป็นไปได้ยาก

ข. ปัจจัยที่มีผลต่อการรวมตัว (Factors Affecting Coagulation)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการรวมตัวของไข่ พอสรุปได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 9 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการรวมเป็นวุ้นของไข่ขาว

ปัจจัย	ผลที่เกิดขึ้น
อุณหภูมิที่ใช้หุงต้ม	ไข่ขาวเริ่มรวมตัวเป็นวุ้นที่ 62 องศาเซลเซียส ไข่แดงเริ่มรวมตัวเป็นก้อนที่ 65 องศาเซลเซียส overcoagulation เกิดเมื่อยืดเวลาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะลดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการรวมตัว และ overcoagulation
ความเจือจางของไข่ในอาหาร	ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อทำให้เกิดการรวมตัว
ชนิดและปริมาณของเกลือในอาหาร	การเพิ่มปริมาณเกลือจะช่วยเพิ่มการ รวมตัว
การเติมน้ำตาล	ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเพื่อทำให้เกิดการรวมตัว
สภาพที่เป็นกรด	ต้องลดอุณหภูมิในขณะที่เริ่มต้นการทำให้เกิดการ รวมตัว
สภาพที่เป็นด่าง	เกิดเป็นวุ้นใสที่ pH สูงกว่า 11.9

ที่มา : วารุณี , 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17483

- อุณหภูมิ (Temperature) ที่จุดไอโซอิเล็กตริก หรือในสารละลายที่มี pH 4.5-7 ไข่ขาวจะเกิดการรวมตัวได้ง่าย ในกรณีของไข่เยี่ยวม้าซึ่งมีการเหลวคืนตัวของไข่ขาว เมื่อนำไปต้มไข่ขาวจะไม่แข็งตัวทั้งนี้ก็เนื่องจาก pH ของไข่ขาวนั้นสูงกว่า 7 นั่นเอง โดยทั่วไปการรวมตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวจะไม่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดแต่จะเกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนไประยะหนึ่ง การเริ่มรวมตัวของไข่ขาวจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 62 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส ไข่ขาวเริ่มแข็งตัวไม่ไหลเยิ้มจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ความเร็วเฉลี่ยของการรวมตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวจะเพิ่มขึ้น 9 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 635 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิสูงๆ ความเร็วในการรวมตัวเป็นวุ้นจะเกิดขึ้นเกือบเท่าๆ กัน ดังนี้จะเห็นว่าอาหารที่มีส่วนประกอบของไข่อยู่สูงเมื่อให้ความร้อนคงที่ไปเรื่อยๆ ในระยะเวลาหนึ่งไข่ก็จะแข็ง

อุณหภูมิที่ทำให้ไข่ขาวและไข่แดงรวมตัวแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงอุณหภูมิที่ทำให้ไข่ขาวและไข่แดงรวมตัว

อุณหภูมิ (ซ°)	ลักษณะ
57	ไข่ขาวบางส่วนเริ่มเป็นลิ่มพอสังเกตได้แต่ต้องใช้เวลานาน
58	ไข่ขาวเริ่มเป็นสีขาวขุ่น (opalescent)
สูงกว่า 60	ไข่ขาวเป็นลิ่มเห็นชัด
60.3	จุดตกลิ่มของไข่ขาวใสชั้นใน
61.0	จุดตกลิ่มของไข่ขาวข้นชั้นกลาง
61.5	จุดตกลิ่มของไข่ขาวใสชั้นนอก
62	ไข่ขาวเป็นลิ่มข้น
65	ไข่แดงเริ่มเป็นลิ่มสุก
70	ไข่ขาวเป็นก้อนค่อนข้างแน่น แต่ยังอ่อนแบบเยลลี่
70 กว่าขึ้นไป	ไข่แดงสุกเป็นก้อนไม่แข็งนัก

ที่มา : สุวรรณ ; 2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ฉลองกรุง

- ความเจือจาง (dilution) อุณหภูมิในการทำให้ไข่เกิดการรวมตัว จะต้องเพิ่มขึ้นถ้าอาหารมีการเติมน้ำหรือมีการเจือจางลง (dilution) ถ้าเติมน้ำมากลงในไข่ ไข่จะมีลักษณะข้นเหนียวเหมือนเคริ์ด (curd) ซึ่งอาจเกิดการแยกออกจากกันในขณะหุงต้ม แต่ถ้ามีปริมาณของเหลวอยู่น้อยและใช้เวลาต้มนานจะได้ลักษณะเหนียวเหมือนก้อนยาง จะเห็นว่าถ้าเติมน้ำต้มประมาณ 10-25 มิลลิลิตรลงไปในไข่ 1 ฟองจะได้ไข่ทอดที่มีความข้นหนืดพอดี

- น้ำตาล (sugar) น้ำตาลทรายมีผลทำให้อุณหภูมิในการรวมตัวเป็นของโปรตีนสูงขึ้นทั้งนี้จะเกี่ยวข้องกับสัดส่วนของน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นด้วยและมีผลอย่างมากต่อไข่ขาวที่ pH 8.5 การเพิ่มน้ำตาลและ potassium acid tartrate ลงไปในไข่ขาวในอัตราส่วนที่ใช้ในการทำเค็กเนยจะมีผลทำให้อุณหภูมิที่เริ่มต้นสูงขึ้น น้ำตาลไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเจล ถ้าการเติมไข่และน้ำนมในคัสตาร์ด มีปริมาณคงที่

- ความเป็นกรดหรือความเป็นด่าง (Acidity or Alkalinity) ผลของกรดและด่างที่มีต่อไข่ขาวขึ้นอยู่กับ pH และความสัมพันธ์กับจุดไอโซอิเล็กตริกของโปรตีน จากการศึกษาพบว่าถ้าปรับ pH ให้ใกล้เคียงกับ pH ของจุดไอโซอิเล็กตริกจะได้ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) สูงที่สุด ซึ่งเป็นจุดที่โปรตีนตกตะกอนและมีการละลายน้อยที่สุด ความคงตัวของ คอนอัลบูมินที่มีต่อความร้อนจะต่ำที่ pH 6 ส่วนที่ pH 9 ความคงตัวของโปรตีนที่มีต่อความร้อนจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และที่ pH 7 ค่าความร้อนของโอวัลบูมินจะสูงที่สุดเมื่อ pH ไข่ขาวอยู่ในช่วง 5.3-5.7 การตกตะกอนด่างด้วยไข่ขาวพบว่า ถ้าปรับ pH ให้เท่ากับ 11.9 หรือสูงกว่าไข่ขาวจะเปลี่ยนสภาพเป็นวุ้นใส (translucent gel) แต่ในระยะเวลาหนึ่งเกิดการคืนตัวเป็นน้ำ เวลาในการทำให้เกิดวุ้นขึ้นอยู่กับความแรงของด่าง อัตราความเร็วในการเติมด่าง อัตราส่วนของด่างและไข่ขาวรวมถึงอุณหภูมิด้วย

2.4 การศึกษาทดลองที่เกี่ยวข้องกับไข่เยี่ยวม้า

การศึกษาของ Cotterill และคณะ (1959) พบว่าไข่ขาวจะแข็งตัวเป็นวุ้นได้ที่ pH 11.5 ระยะเวลาในการแข็งตัวของวุ้นของไข่ขาวจะแปรตามปริมาณของไข่ขาว ปริมาณและความแรงของด่างที่ใช้ อัตราเร็วในการเติมหรือผสมด่างลงไปไข่ขาวและอุณหภูมิในการผสม ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวและ pH นั้นเป็นไปดังตารางที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงผลของ pH ที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาว

PH	เวลาที่ไข่ขาวแข็งตัวเป็นวุ้น (วินาที)
11.3	-
11.6	-
12.0	15,000
12.1	10,000
12.2	1,000
12.3	480
12.4	340
12.5	180
12.6	90
12.7	10

ที่มา : Cotterill และ คณะ ,1959

เมื่อเพิ่ม pH ให้สูงกว่า 12.8 อย่างรวดเร็วมีผลทำให้ไข่ขาวแข็งตัวเป็นวุ้นอย่างทันทีทันใด การตรวจสอบการแข็งตัวเป็นวุ้นนี้ใช้วิธีพิจารณาจากการที่วุ้นไม่มีการไหลเยิ้มเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ตารางที่ 12 แสดงความเข้มข้นของด่างที่มีผลต่อระยะเวลาและ pH ที่ต้องการเพื่อให้ไข่ขาวแข็งตัว

ตัวเลขตามตารางที่ 12 เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองตรวจสอบหลายๆครั้ง โดยใช้ไข่ขาว 20 มิลลิลิตร นับระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวและตรวจค่าความเป็นกรดด่างของไข่ขาว เมื่อเพิ่ม pH ของไข่ขาวให้สูงกว่า 12.0 โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมล่าร์ และ 0.2 โมลาร์ ไข่ขาวจะไม่แข็งตัวเป็นวุ้นเนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่เจือจางมากเกินไป แต่เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ ไข่ขาวถูกทำให้เจือจางลงก็ยังสามารถแข็งตัวเป็นวุ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงผลของความเข้มข้นของด่างที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวโดยใช้ปริมาณ ของไข่ขาวคงที่

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)	ปริมาณที่ใช้ (มิลลิลิตร)	pH สุดท้าย	เวลาที่ไข่ขาวแข็งตัวเป็นวุ้น (วินาที)
0.1	150	12.4	-
0.2	73	12.4	-
0.3	30	12.5	50,000
0.5	10	12.6	25,000
	6	12.2	50,000
1.0	4	12.5	300
	5	12.5	180
2.0	2	12.6	160
3.0	2	12.5	120
4.0	1	12.6	100
5.0	1	12.7	35

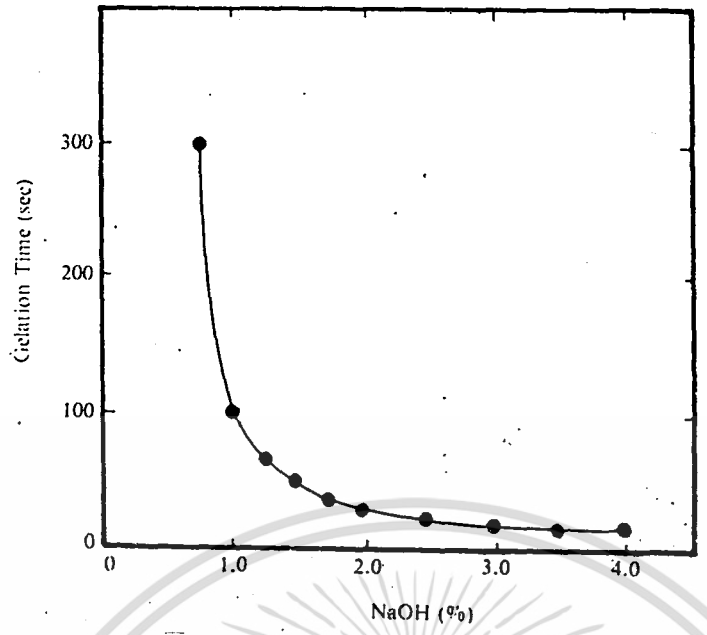
ที่มา : Cotterill และคณะ , 1959

2.4.1 ความเข้มข้นของด่าง

ความเข้มข้นของด่างมีผลต่อเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาว แสดงได้ดังรูปที่ 8

เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 ถึง 4 โดยน้ำหนักลงไปในไข่ขาวที่มีปริมาณเล็กน้อยมีผลทำให้ไข่ขาวแข็งตัวเป็นวุ้นทันที เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในปริมาณน้อยกว่าเล็กน้อยมีผลทำให้ระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวเพิ่มขึ้นอย่างมาก สำหรับโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.35 โดยน้ำหนักในปริมาณเล็กน้อยก็มีผลต่อการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวด้วยเช่นกัน แต่ระยะเวลาการแข็งตัวเป็นของไข่ขาวจะเพิ่มขึ้นอีกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

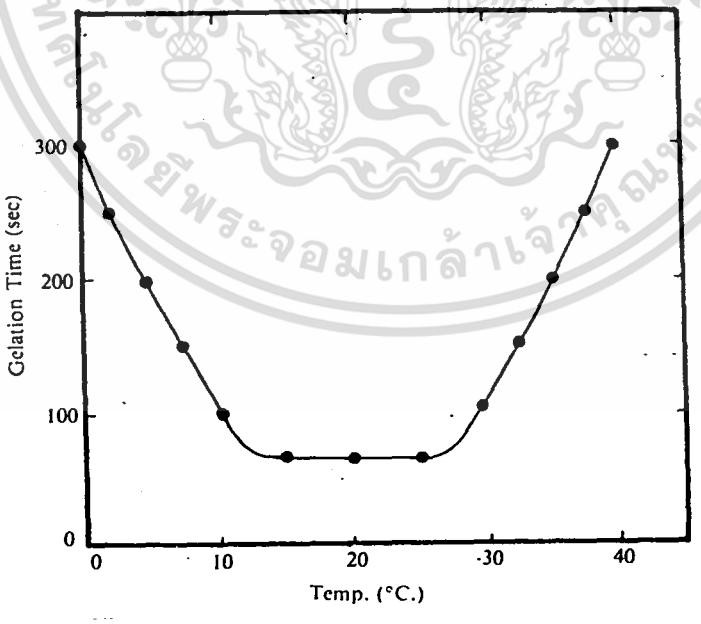


รูปที่ 8 แสดงความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาว

ที่มา : Cotterill และ คณะ,1959

2.4.2 อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการการแข็งตัวของไข่ขาวแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาว

ที่มา : Cotterill และคณะ ,1959

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้ปริมาณของไข่ขาวและด่างที่คงที่พบว่า อุณหภูมิระหว่าง 10 ถึง 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวจะสั้นกว่า เมื่อไข่ขาวถูกทำให้เย็นหรือร้อนขึ้นระยะเวลาในการแข็งตัวเป็นวุ้นของไข่ขาวจะนานขึ้น

อย่างไรก็ตามมีหลายปัจจัยที่อาจมีผลต่อการแข็งตัวเป็นวุ้น สำหรับโปรตีนของไข่ขาวซึ่งมีลักษณะคล้ายกับโปรตีนชนิดอื่น คือจะแข็งตัวเป็นวุ้นได้ภายใต้เงื่อนไขหรือปัจจัยเฉพาะ การแข็งตัวเป็นวุ้นเป็นโครงสร้างเครือข่าย (network structure) ซึ่งเกิดจากการเกาะจับกันเป็นกลุ่มของเส้นโพลีเปปไทด์ ตลอดทั้งโมโลกุล (Cotterill และคณะ., 1962) โดยที่จะเกิดการสมดุลย์กันของแรงผลัก (repulsive forces) และแรงดูด (attractive forces) ระหว่างเส้น polypeptide นั้น ในกรณีของด่างซึ่งทำให้โปรตีนแข็งตัวเป็นวุ้นได้นั้นก็เนื่องจาก coulombic forces ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากประจุลบในปริมาณสูงทำให้เกิดการสมดุลย์ของแรงผลัก

Cotterill และคณะ. (1962) ได้รายงานไว้ว่า ไข่ขาวที่แข็งตัวเป็นวุ้นเนื่องจากด่างนั้นจะเกิดการเหลวคืนตัวเป็นน้ำ (self –liquefaction) ซึ่งจะทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์และทำให้เกิดหมู่ของกรดอะมิโนอิสระด้วย การคืนตัวเหลวของวุ้นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว พบว่าเมื่อไข่ขาวแข็งตัวเป็นวุ้นที่ pH 12.6-12.8 การคืนตัวเหลวจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าวุ้นที่เกิดขึ้นที่ pH 12.2-12.5 แต่เมื่อวุ้นเกิดขึ้นที่ pH 12.1-12.2 การคืนตัวเหลวจะช้าลงคือใช้เวลาหลายอาทิตย์และอาจเป็นการคืนตัวเหลวเพียงบางส่วนเท่านั้น การให้ความร้อนแก่วุ้นที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียสเป็นการช่วยให้การเหลวคืนตัวของวุ้นเป็นไปเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามการเกิด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในขณะที่มีการคืนตัวเหลวเป็นน้ำไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากด่างแต่เป็นเพราะกรดที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยซึ่งช่วยให้วุ้นเหลวที่คืนตัวเป็นน้ำมีสภาพเป็นกลางเป็นผลทำให้เกิดไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ (H_2S) ขึ้นเป็นจำนวนมาก

2.4.1 การย่อยสลายของโปรตีน

การทดลองโดยใช้ไข่ขาว 10 มิลลิลิตร ปรับให้ได้ pH ตามต้องการด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.0 โมลาร์ เพื่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นวุ้น แล้วตั้งวุ้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการคืนตัวเหลว หลังจากนี้แบ่งเอาครึ่งหนึ่งของตัวอย่างเติมน้ำลงไป 20 มิลลิลิตรพร้อมด้วยกรดที่เจือจางเพื่อปรับ pH ให้ได้ 8.6 แล้วจึงทำการไตเตรทโดยใช้ฟีนอฟทาลีน (Phenolphthalein) จากนั้นนำเอาสารละลายฟอร์มาลินร้อยละ 40 ซึ่งเตรียมใหม่ๆเติมลงไปในทั้งสองตัวอย่างๆละ 20 มิลลิลิตร แล้วจึงทำการไตเตรทกลับอีกครั้งหนึ่งด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 0.1002 นอร์มอล ผลที่ได้ตามตารางที่ 13

ผลปรากฏว่าส่วนที่ใช้เป็นตัวควบคุม จะมีอะมิโน ไนโตรเจน (amino nitrogen) เฉลี่ย 6.84 มิลลิลิตร ส่วนที่เติมด่างจะมีอะมิโน ไนโตรเจน สูงกว่าโดยสังเกตได้จาก pH ที่เพิ่มขึ้นซึ่งชี้ให้เห็นถึงการย่อยสลาย (hydrolysis) ของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 แสดงการทำ Formal titrations ของไข่ขาวซึ่งเติมด่างในปริมาณต่างๆกัน

	pH	0.1 M NaOH ต่อไข่ขาว 1 กรัม (มิลลิกรัม)	Amino nitrogen ต่อไข่ขาว 1 กรัม (มิลลิกรัม)
Control	8.6	0.487	6.82
	8.6	0.490	6.87
	8.6	0.488	6.84
Treatment	11.3	0.50.3	7.04
(ที่เติมด่าง)	12.0	0.510	7.14
	12.4	0.519	7.26
	12.6	0.520	7.28
	12.8	0.525	7.36
	13.0	0.532	7.44

ที่มา : วารุณี , 2532

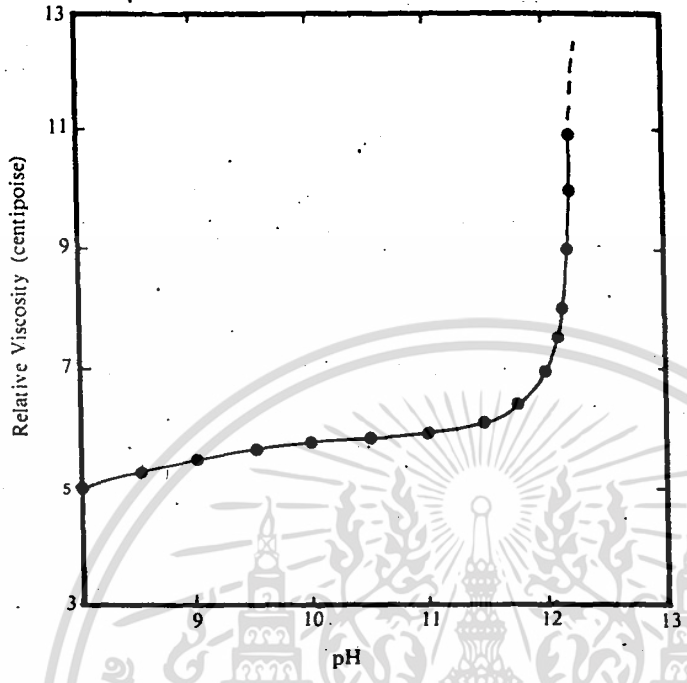
2.4.4 ความหนืดของไข่ขาว

การเติมด่างลงไปในไข่ขาวมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนืด (viscosity) อย่างมากตามที่แสดงในรูปที่ 10

การทำให้ pH ในไข่ขาวเพิ่มขึ้นจาก pH ของไข่สดจนถึง 11.5 มีผลทำให้ ความหนืด เพิ่มขึ้นเมื่อ pH เกิน 11.5 ความหนืดจะสูงมากอย่างเห็นได้ชัดเจน จนในที่สุดไข่ขาวกลายเป็นวุ้น Cotterill และคณะ (1962) กล่าวไว้ว่าได้มีรายงานหลายฉบับซึ่งเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของ ความหนืด และตามด้วยการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีน (protein denaturation) การเพิ่มขึ้นของความหนืด เกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาตรของตัวถูกละลาย (solute) ทำให้มีการเพิ่มของความสมมาตรของโมเลกุล (molecular asymmetry) หรือเกิดการ hydration หรืออาจเกิดจากสาเหตุทั้งสองประการ โดยเกี่ยวข้องกับการคลายตัว (unfolding) ของโมเลกุล นอกจากนี้ได้รายงานไว้อีกว่าวุ้นจากไข่ขาวมีคุณสมบัติในการเป็น thixotropy กล่าวคือ สามารถเปลี่ยนแปลงกลับคืนได้เมื่อมีการแข็งตัวเป็นวุ้น (reversible, isothermal gel-sol transformation) โดยที่เมื่อทำให้วุ้นมีการสั่นสะเทือนก็จะเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้ และเมื่อหยุดการสั่นสะเทือนของเหลวก็จะกลับกลายเป็นวุ้น ในกรณีของไข่ขาวที่มีความเป็นด่างที่ pH 12.0 ถึง 12.2 เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่เป็นเวลา 1 คืน จะแข็งตัวเป็นวุ้นและเมื่อทำการเขย่าจะทำให้วุ้นเหลวได้ในช่วงเวลาสั้นๆหลังจากการหยุดการเขย่าก็จะกลายเป็นวุ้นแข็งได้เหมือนเดิม



รูปที่ 10 แสดงผลของ pH ที่มีต่อความหนืดของไข่ขาว

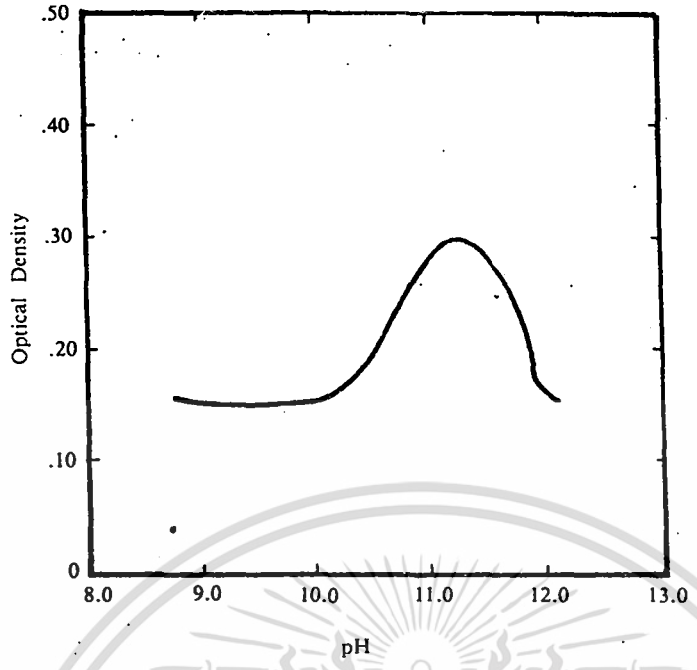
ที่มา : Cunningham และ Cotterill ,1962

2.4.5 Optical density ของไข่ขาว

Cotterill และคณะ. (1959) กล่าวว่า Optical density ของไข่ขาวจะเปลี่ยนแปลงเมื่อ pH เปลี่ยนไปตามที่แสดงในรูปที่ 11

Optical density ของไข่ขาวจะคงที่ที่ pH 8 ถึง 10 เมื่อ pH เพิ่มสูงกว่านี้ optical density เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเมื่อ pH สูงกว่า 11 จะทำให้ค่า optical density สูงสุด การเพิ่มขึ้นของ optical density นี้เองใช้อธิบายถึงการตกตะกอน (precipitation) ของโปรตีนในไข่ขาวบางตัว ซึ่งเกิดขึ้นในช่วง pH 10 และ 11 อย่างไรก็ตามการเพิ่มถึงขีดสูงสุดแล้ว optical density ลดลงเท่ากับจุดเริ่มต้นที่ pH ประมาณ 12.0 นี้อธิบายได้ว่าที่ pH 10, 11 และ 12 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Optical density ที่ปรากฏในภาพก็เนื่องจากการตกตะกอนของโปรตีนต่างชนิดกันในไข่ขาวนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แสดงผลของ pH ที่เป็นด่างที่มีต่อ optical density ของไข่ขาว

ที่มา: Cunningham และ Cotterill, 1962

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ไข่ไก่

3.1.2 ไข่เป็ด

3.1.3 ไข่นกกระทา

3.2 สารเคมี

3.2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$)

3.2.2 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)

3.2.3 โซเดียมไดคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

3.2.4 แคลเซียมออกไซด์ (CaO)

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 แท่งแก้วคนสาร

3.3.2 ช้อนตักสาร

3.3.3 กระจกนาฬิกา

3.3.4 กระชอน

3.3.5 กระบอกตวง

3.3.6 ปิเปต

3.3.7 บิวเรต

3.3.8 กระบอกตวง

3.3.9 ถ้วยอลูมิเนียม (aluminum can)

3.3.10 ลูกยาง

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์

3.4.1 เทอร์โมมิเตอร์

3.4.2 เครื่องชั่ง

3.4.3 แผ่นให้ความร้อน (hot plate)

3.4.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

3.4.5 water- bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเตรียมวัตถุดิบ

การแยกไข่ขาวเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง โดยนำไข่ทั้งฟองมาล้างทำความสะอาด ต่อยไข่แล้วแยกส่วนที่เป็นไข่ขาวและไข่แดงแยกออกจากกัน นำไข่ขาวมากรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ครั้ง เพื่อให้ไข่ขาวเป็นเนื้อเดียวกัน

3.6 การทดลองและวิธีการ

3.6.1 ศึกษาชนิดของไข่ขาวที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเจลโปรตีนโดยใช้ไข่ขาวจากไข่ 3 ชนิด

ก. ชั่งไข่ขาวของไข่ไก่ ไข่เป็ด ไข่นกกระทาที่ผ่านการเตรียมแล้ว จำนวน 50 กรัม บรรจุลงในไส้หมูที่ผ่านการทำความสะอาด มัดเป็นลูกขนาด 50 กรัม

ข. นำไข่ขาวทั้ง 3 ชนิดแช่ลงในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 300 มิลลิลิตร จับเวลาที่แช่ 11 ชั่วโมง

ค. เมื่อครบเวลานำเจลไข่ขาวทั้งสามชนิดมาต้มให้สุกในน้ำอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที

ง. นำเจลไข่ขาวที่มีลักษณะแข็งมาชั่งน้ำหนัก และตรวจลักษณะของเจลไข่

3.6.2 ศึกษาชนิดด่างที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลโปรตีนไข่ขาว

ใช้สารละลายด่างที่ pH 12.5 ของสารละลายด่าง 3 ชนิด ดังนี้

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (วิธีการเตรียมในภาคผนวก)
- สารละลายโซเดียมไดคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และสารละลายแคลเซียมออกไซด์ (CaO) อัตราส่วน 1:2 (วิธีการเตรียมในภาคผนวก)
- สารละลายโซเดียมไดคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ผสมกับสารละลายแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) (วิธีการเตรียมในภาคผนวก)

ก. ชั่งไข่ขาวที่เหมาะสมจากข้อ 2.1 ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรใช้ปิเปตดูดไข่ขาวทั้งหมดและปีบลงในสารละลาย ทั้ง 3 ชนิด ปริมาตร 300 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส กำหนดเวลา 10 นาที

ข. กรองเจลด้วยตะแกรงและพักให้สะเด็ดน้ำ จับเวลา 20 นาที

ค. นำเจลไข่ที่ได้มาชั่ง บันทึกน้ำหนักและลักษณะของเจล

3.6.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อความคงตัวของเจลโปรตีนไข่ขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สารละลายด่างที่เหมาะสมจากข้อ 3.6.2 ในการทำให้เกิดเจลโปรตีนไข่ขาวที่ระดับอุณหภูมิ 65 ,70 และ 75 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นเวลา 10 นาที โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. ชั่งไข่เป็ดที่ผ่านการเตรียมแล้ว 50 กรัม บีบด้วยปีเปตลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 12.5 จำนวน 300 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 65 ,70 และ 75 องศาเซลเซียส กำหนดเวลา 10 นาที

ข. กรองเจลด้วยตะแกรง และพักให้สะเด็ดน้ำ 20 นาที

ค. ชั่งน้ำหนักเจลที่ได้และนำไปวิเคราะห์

- ทดสอบความคงตัว

แช่เจลไข่ที่ได้ลงในน้ำปริมาตร 150 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นกรองเจล ด้วยกระชอนและจับเวลา 20 นาที และแช่ลงในน้ำอีก 2 วัน ทำการกรองเจลและจับเวลา 20 นาที และแช่ลงในน้ำเชื่อม 15 °Brix เป็นเวลา 2 วัน โดยระหว่างการแช่จะคงอุณหภูมิไว้ในตู้เย็น

- วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

วัดความเป็นกรด-ด่างด้วย pH-meter .ในเจลที่ได้และเจลที่ผ่านการทดสอบความคงตัวแล้ว โดยชั่งเจลที่ได้จำนวน 10 กรัมใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วใหม่ๆ และทิ้งไว้จนเย็น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน อ่านค่า pH จากเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

- วิเคราะห์ความชื้น

นำเจลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์หาความชื้น (วิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก)

2.6.4 การผลิตผลิตภัณฑ์เจลไข่ขาวในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตย 15 °Brix

นำเจลไข่ขาวมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โดยใช้ปริมาณเจลในอัตราส่วนเจลต่อน้ำเชื่อมร้อยละ 10 ,15 และ 20 ตามลำดับ ใช้ใบเตยเป็นตัวแต่งกลิ่นรส (การเตรียมอยู่ในภาคผนวก) ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic scale ที่ระดับสเกล 1-5 ตรวจสอบคุณภาพด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความข้นเจล และการยอมรับรวม นำผลไปวิเคราะห์ทางสถิติแบบRCBD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาชนิดของไข่ขาวที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเจลโปรตีน

การศึกษาชนิดของไข่ขาวที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเจลโปรตีนจากไข่ 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 14 พบว่า

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ แช่ไข่ขาวเป็นเวลา 11 ชั่วโมง ทำให้ไข่ขาวจากไข่นกกระทาเกิดเจลสูงสุดถึงร้อยละ 78.6 ซึ่งมีความแตกต่างจากปริมาณผลผลิตของเจลจากไข่ไก่ แต่ไม่แตกต่างจากเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของไข่เป็ดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของไข่ไก่และไข่เป็ดเป็นร้อยละ 35 และ 47.5 ตามลำดับ

ส่วนลักษณะปรากฏของเจลโปรตีนไข่ขาวจากไข่นกกระทา มีลักษณะเจลใส แต่มีสีเหลืองเข้มใกล้เคียงกับเจลโปรตีนไข่ขาวจากไข่ไก่ แต่เข้มมากกว่าไข่เป็ด ส่วนความแข็งของเจลโปรตีนพบว่าเจลจากไข่นกกระทามีความแข็งของเจลสูงกว่าเจลของไข่เป็ดและไข่ไก่ตามลำดับ

การพิจารณาคัดเลือกใช้ไข่เป็นวัตถุดิบเมื่อการศึกษาครั้งต่อๆ ใช้ไข่เป็ด เพราะจะได้เจลโปรตีนไข่ที่มีสีอ่อนกว่ามาก แต่คุณภาพใกล้เคียงกับเจลโปรตีนที่ได้จากไข่นกกระทาและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตปานกลาง แต่เมื่อเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยของไข่ขาวแล้วพบว่าไข่ขาวของไข่เป็ด 100 กรัมมีราคา 7.5 บาท ขณะที่ไข่ขาวของไข่นกกระทา 100 กรัม ราคา 13.5 บาท ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่ากันมาก

4.2 ศึกษาชนิดของสารละลายด่างที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลโปรตีนไข่ขาว

การเกิดเจลโปรตีนไข่ขาวจากไข่เป็ดโดยใช้สารละลายด่าง 3 ชนิด ที่pH 12.5 แสดงผลดังตารางที่ 15

จากตารางที่ 15 พบว่าเจลไข่ขาวที่ได้จากการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้เจลที่มีลักษณะใส มีความยืดหยุ่น มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเพียงร้อยละ 35.8 ในขณะที่ไข่ขาวที่ได้จากการใช้สารละลายผสมระหว่าง Na_2CO_3 กับ CaO และสารละลาย ผสมของ Na_2CO_3 , CaO และ $Ca(OH)_2$ จะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงถึงร้อยละ 66.2 และ 69.4 ตามลำดับแต่ไม่เกิดเป็นเจลโปรตีนเพราะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นและไม่ยืดหยุ่น ดังนั้นสารละลายที่เหมาะสมต่อการใช้ผลิตเจลโปรตีนจึงใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 แสดงเปอร์เซ็นต์ผลผลิต ความเป็นกรด-ด่างและลักษณะปรากฏของเจลโปรตีนที่ได้จากไข่ 3 ชนิด

ชนิดของเจลโปรตีน	ไข่ไก่		ไข่เป็ด		ไข่นกกระทา	
	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต	pH	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต	pH	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต	pH
	35[a]	9.99	47.5[ab]	10.25	78.6[b]	10.35
ลักษณะปรากฏของเจล	ลักษณะเจลใส มีสีเหลืองเข้ม มีน้ำเยิ้ม ลักษณะเจลอ่อน มีกลิ่นไข่ต้ม		ลักษณะเจลใส มีสีเหลืองอ่อน เป็นก้อน มีความยืดหยุ่นสูง มีกลิ่นไข่ต้ม		ลักษณะเจลใส มีสีเหลืองเข้ม มีความยืดหยุ่นสูงมาก มีกลิ่นไข่ต้ม	

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดลองแบบ CRD ทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 15 แสดงผลของสารละลาย ด่าง 3 ชนิดที่ pH 12.5 ที่มีผลต่อการเกิดเจลโปรตีนจากไข่เป็ดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

ชนิดของสารละลายด่าง	ผลผลิตของเจลโปรตีน (%)	ลักษณะเจล
NaOH	35.8[a]	มีลักษณะเป็นเจลใส มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นคาวไข่
Na_2CO_3 + CaO	66.2[b]	มีสีขาวขุ่น ไม่ยืดหยุ่น ลักษณะเหมือนไข่ต้ม มีกลิ่นไข่สุก
Na_2CO_3 +CaO+$Ca(OH)_2$	69.4[b]	มีสีขาวขุ่น ไม่ยืดหยุ่น ลักษณะเหมือนไข่ต้ม มีกลิ่นสุก

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดลองแบบ CRD ทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อความคงตัวของเจลไข่ขาว

ผลของความคงตัวของเจลไข่ขาว จากตารางที่ 16 พบว่า เจลไข่ขาวที่ได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จะมีความคงตัวมากที่สุด คือมีการเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 53.2 ในขณะที่เจลโปรตีนไข่ขาวที่ใช้อุณหภูมิที่ 65 และ 75 องศาเซลเซียส จะมีความคงตัวน้อยมาก เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักลดลง โดยมีค่าลดลงไปถึงร้อยละ 97.69 และร้อยละ 60.65 ตามลำดับ

ลักษณะของเจลโปรตีนไข่ขาวที่ใช้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีลักษณะของเจลที่ดีคือ เจลใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นคาว และมีค่าความเป็นกรด-ด่างภายหลังจากการแช่ในน้ำและน้ำเชื่อมแล้วที่ pH 7.45 เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการศึกษาในขั้นต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับรุจี (2530) พบว่าหลังจากที่เก็บเจลในอุณหภูมิตู้เย็น 4-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จะให้เกิดการระเหยของก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโน จากการนี้เป็นผลให้เจลไข่ขาวเปลี่ยนจากเดิมที่มีสีเหลืองเล็กน้อยไปเป็นเจลที่ไม่มีสีและมีความขุ่นขาวเล็กน้อย

4.4 การทดสอบผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตย

การยอมรับของผู้บริโภคต่อเจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยแสดงผลดังตารางที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดงความคงตัวของเจลโปรตีนจากไข่เป็ดเมื่อใช้ความร้อนทำให้สุกที่อุณหภูมิและแช่น้ำที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิ (ซ°)	น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงและลักษณะเจล (กรัม)			pH	การเปลี่ยนแปลง (%)
60		แช่น้ำ2 วัน	แช่น้ำอีก 2 วัน	แช่น้ำเชื่อม 2 วัน	6.72	97.69[a]
	17.35	8.75	5.7	0.4		
	เจลใสไม่มีสี เจลอ่อนนิ่มไม่ค่อยอยู่ตัว มีกลิ่นคาวแรงมาก	เจลใสไม่มีสี เจลนิ่มและมีลักษณะเหลว มีกลิ่นคาวไข่ลดน้อยลง	เจลใสไม่มีสี เจลอ่อนนิ่มเป็นของเหลว มีกลิ่นคาวเล็กน้อย	เจลใสไม่มีสี เจลละลายเหลือน้อยมาก มีกลิ่นคาว น้อย		
70	18.3	17.95	16.4	7.2	7.28	60.65[ab]
	เจลใส สีเหลืองเล็กน้อย ค่อนข้างแข็งอยู่ตัว มีกลิ่นคาวไข่	เจลใส สีเหลืองจาง นิ่มและกระจายตัว มีกลิ่นคาวไข่ลดน้อยลง	เจลใส ไม่มีสี เจลอ่อนนิ่มแยกตัวออกจากกัน มีกลิ่นคาวไข่เล็กน้อย	เจลใส ไม่มีสี เจลอ่อนนิ่มแยกตัว มีกลิ่นคาวน้อย		
75	17.95	27.55	28.6	27.5	7.45	53.20[b]
	เจลใสสีเหลืออ่อนเป็นก้อนติดกันแข็งอยู่ตัว มีกลิ่นคาวไข่และกลิ่นสุก	เจลใส สีเหลืองอ่อนเจลนิ่มลง กระจายตัว มีกลิ่นคาวไข่น้อยลง	เจลใส ไม่มีสี ลักษณะอ่อน เละ กระจายตัว มีกลิ่นคาวน้อยมาก	เจลใส ไม่มีสี ลักษณะอ่อนตัว กระจายตัว ไม่มีกลิ่นคาว		

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดลองแบบ CRD ทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเจลโปรตีนที่ความเข้มข้นระดับต่างๆกัน

ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	คะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาด	ความข้น	ยอมรับรวม
10	3.8[a]	3.9[a]	3.3[a]	2.9[a]	3.4[a]
15	3.8[a]	3.4[b]	3.6[a]	3.6[b]	3.8[b]
20	3.7[a]	3.3[b]	3.2[a]	3.6[b]	3.4[b]

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความหมายแตกต่างกันทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดลองแบบ RCBD ทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 17 พบว่าค่าคะแนนการทดสอบคุณลักษณะของสี ของผลิตภัณฑ์เจลในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่มีปริมาณเจลต่อน้ำเชื่อมในอัตราส่วนต่างๆกัน จะไม่มีความแตกต่างทางอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ผู้บริโภคจะให้คะแนนที่ระดับความเข้มข้นที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์สูงถึง 3.8 ส่วนที่ความเข้มข้นระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ได้คะแนนเป็น 3.6 ตามลำดับ

จากค่าคะแนนด้านคุณลักษณะของกลิ่น พบว่าผู้บริโภคมีการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกับที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้บริโภคให้คะแนนสูงถึง 3.9 ส่วนที่ระดับความเข้มข้นที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะได้คะแนนเป็น 3.4 และ 3.3 ตามลำดับ

ส่วนคุณลักษณะทางด้านรสชาติพบว่าผลิตภัณฑ์เจลในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่มีปริมาณเจลในอัตราส่วนต่างๆ กัน ค่าคะแนนด้านรสชาติจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยคะแนนของความเข้มข้นที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์มีค่าสูงสุดเป็น 3.6 และคะแนนของความเข้มข้นที่ระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเป็น 3.3 และ 3.2 ตามลำดับ

สำหรับคุณลักษณะด้านความข้นของเนื้อเจลที่มีในผลิตภัณฑ์พบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์สูงสุด ทั้งสองระดับความเข้มข้นมีค่าคะแนนเป็น 3.6 ซึ่งมีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่มีเข้มข้นที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีคะแนนเป็น 2.9

คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดคือค่าคะแนนด้านการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นที่ระดับร้อยละ 15 สูงสุด ซึ่งมีค่าคะแนนสูงถึง 3.8 และมีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นที่ระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ซึ่งทั้งสองมีค่าคะแนนเท่ากันคือ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะผลการทดลอง

การผลิตเจลโปรตีนไข่ขาว พบว่าการใช้ไข่ขาวของนกกระทาเป็นวัตถุดิบจะได้เจลโปรตีนที่มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงกว่าจากไข่ขาวของไข่เป็ด แต่คุณภาพของเจลโปรตีนใกล้เคียงกัน ในขณะที่เจลโปรตีนจากไข่ไก่มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตต่ำกว่าและคุณภาพด้อยกว่า แต่ถ้าพิจารณาถึงความเหมาะสมด้านความสะดวกในการปฏิบัติการแยกไข่ขาวออกจากไข่แดง และราคาต่อ 100 กรัม ของไข่ที่เป็นวัตถุดิบแล้ว ไข่ขาวจากไข่เป็ดจะมีความเหมาะสมกว่าและราคาถูกกว่าไข่นกกระทา

สารละลายด่างที่ใช้เพื่อทำให้เกิดเจลโปรตีนของไข่ขาวพบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดเจลโปรตีนที่มีลักษณะที่ดีที่สุด คือ ได้เจลโปรตีนที่ใส และมีความยืดหยุ่นดี เมื่อนำมาแช่ในน้ำและน้ำเชื่อมจะมีความคงตัวสูงสุดและมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.45 ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตย

ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ใช้อัตราส่วนเจลโปรตีนต่อน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยในระดับ 15 เปอร์เซ็นต์จะได้รับการยอมรับสูงสุด โดยมีสี กลิ่น รสชาติ ความเข้มข้นของเนื้อ และการยอมรับรวมเป็น 3.8 , 3.4 , 3.6, 3.6, และ 3.8 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. การแช่ไข่ขาวลงในสารละลายด่าง หลังจากเตรียมใส่ลงในไส้ต้องทำแช่ทันที เพราะไข่ขาวบางส่วนจะซึมผ่านไส้ออกมา
2. ในการจับเวลาของการแช่ไข่ขาวในด่างต้องครบกำหนดเวลา 11 ชั่วโมงพอดี เพราะเป็นเวลาที่เกิดเจลสูงสุด ถ้าแช่มากกว่านี้เจลบางส่วนจะกลับคืนเป็นน้ำ
3. ก่อนการต้มไข่ขาวที่ผ่านการแช่สารละลายแล้ว ควรทำการใส่ลงไส้หมูอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำหนักจากการแตกของไส้หมู
4. เจลไข่ขาวที่นำมารับประทานกับน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ดังนั้นน่าจะมีความเป็นไปได้ในการนำเจลไปพัฒนา โดยเฉพาะการลอยตัวของเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จิตธนา แจ่มเมฆ และคณะ. 2540. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 510 หน้า

ชาดา อนันต์ปัญจาสุข. และ ปัทมา แซ่ฉั่ว. 2540. การศึกษาเจลไข่ขาวในสภาวะด่าง (ปัญหาพิเศษ)ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . 53 หน้า

รุจี วานิชยาการ. 2530 . ไข่เยี่ยวม้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี . 2 (1) : 9-12

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2532. เคมีอาหาร. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง . 381 หน้า

วรรณา ตั้งเจริญชัย. 2533. เอกสารประกอบการปฏิบัติการเคมีอาหาร บทที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วารุณี เสนสุภาและคณะ. 2532. การผลิตไข่เยี่ยวม้าโดยไม่ใช้สารประกอบตะกั่ว. ฝ่ายค้นคว้าและวิจัย กองวิชาการ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข . 85 หน้า

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ . 2529. ไข่และเนื้อไก่ . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร : ศิลปบรรณาคาร . 382 หน้า

Cotterill , O.J. et al. 1959. Titration Curves and Turbidity of Whole Egg White. Poultry Science. 38(4) : 836-842

Cunning ham, F.E.and O.J. Cotterill. 1962. Factors affecting alkaline coagulation of egg white .Poultry Science. 41: 1453-1461

Doi,E. 1993. Gels and Gelling of globular protein. Trend in Food Science and Technology. 4(1) : 1-5

Froning, G.W. 1998. Developments in Food Protein. Nutritional and Function Properties of Egg Protein. New York : Elsevier Science Publisher. 335 .

Lehninger ,Albert L. 1975. Biochemistry. New York : Worth Publishers. Inc

Romanoff, A.L. and A.J. Romanoff. 1949. The Avian Egg. New York : John Wiley and Sons Inc.

Ziegler, G.R. and E.A. Foegeding. 1990 . The Gel of Protein. Advance in Food and Nutrition Reserch .New York. 34 : 463-465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 12.5

ตวงน้ำกลั่นด้วยกระบอกตวงปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ด (AR-grade) ลงบนกระจกนาฬิกา 15 กรัม คนน้ำในบีกเกอร์ตลอดเวลาขณะค่อยๆเทเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ คนสารละลายและปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา และตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเย็น จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 15

นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ที่ได้ใส่ลงในบิวเรต หยดลงในกะละมังบรรจุน้ำกลั่น 3,000 มิลลิลิตร และวัดความเป็นกรดด่างด้วย pH meter จนได้สารละลายที่มี pH 12.5 บรรจุลงในขวดสีชา

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์

ชั่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 กรัมลงบนกระจกนาฬิกา คนน้ำในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร คนสารละลายตลอดเวลาและปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเย็น

3. สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว

ชั่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัม ลงในกะละมังที่บรรจุน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยเครื่องคนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตั้งให้ความร้อนด้วยแผ่นให้ความร้อนจนเดือด ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้สารละลายส่วนที่ไม่ละลายตกตะกอน กรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาฝ้าออก ใช้สารละลายส่วนใส

4. สารละลายโซเดียมไดคาร์บอเนต (Na_2CO_3)และสารละลายแคลเซียมออกไซด์ (CaO) อัตราส่วน 1:2

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) จำนวน 60 กรัม และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 120 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และนำไปต้มให้เดือด ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้สารละลายตกตะกอน

นำสารละลายที่ได้ ซึ่งมี pH ประมาณ 13.67 บรรจุลงในบิวเรตและหยดลงในกะละมังที่บรรจุน้ำกลั่น 2,000 มิลลิลิตร วัดด้วย pH meter จนได้สารละลาย pH 12.5

5. สารละลายโซเดียมไดคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ผสม สารละลายแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และสาระละลาย แคลเซียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว $Ca(OH)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิเปตส่วนใสสารละลายโซดาแอช (Na_2CO_3) และสารละลายปูนขาว (CaO) อัตราส่วน 1:2 มาจำนวน 10 มิลลิลิตร เจือจาง ด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว วัดด้วย pH meter จนได้สารละลาย pH 12.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตย

วิธีการ

1. นำใบเตย จำนวน 500 กรัม มาล้างทำความสะอาด
2. หั่นใบเตยหยาบผสมกับน้ำเล็กน้อยนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียด
3. กรองน้ำใบเตยด้วยผ้าขาวบาง
4. เจือจางจนได้น้ำ 3,000 มิลลิลิตร และต้ม
5. เติมน้ำตาลและวัดหาค่าของแข็งที่ละลายได้ให้ได้ค่า 15 °Brix ต้มจนเดือด
6. พักไว้จนอุ่นบรรจุใส่ขวดน้ำดื่มและเก็บไว้ในอุณหภูมิตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความชื้น

การวิเคราะห์ความชื้นโดยใช้วิธีของ AOAC (1984)

วิธีการ

1. อบถ้วยอลูมิเนียม (aluminum can) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (dessicator)
2. ชั่งตัวอย่างอาหารน้ำหนักแน่นอนประมาณ 5 กรัม ลงในถ้วยอลูมิเนียม จากข้อ 1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
3. ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป คิดเป็นร้อยละ

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตย

ผู้ทดสอบ_____ วันที่ _____

คำแนะนำ 1.ในระหว่างการชิมรสแต่ละตัวอย่าง ใช้น้ำล้างปากกันการสับสนระหว่างตัวอย่าง

2. ควรชิมให้ครบทุกตัวอย่างก่อนการให้คะแนน

ชอบมาก เท่ากับ 5 คะแนน
ชอบ เท่ากับ 4 คะแนน
เฉยๆ เท่ากับ 3 คะแนน
ไม่ชอบ เท่ากับ 2 คะแนน
ไม่ชอบมาก เท่ากับ 1 คะแนน

รหัสตัวอย่าง	986	586	198
สี			
กลิ่น			
รสชาติ			
ความเข้มข้นของเนื้อ			
การยอมรับรวม			

ข้อเสนอแนะ

_____

_____

_____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10

ลำดับของผู้ชิม	สี	กลิ่น	รสชาด	ความข้น	การยอมรับรวม
1	4	5	4	3	4
2	5	5	3	3	4
3	4	5	4	3	4
4	5	4	4	3	3
5	5	4	5	4	5
6	4	4	3	2	3
7	4	4	3	3	3
8	3	4	4	3	4
9	3	2	3	3	3
10	4	3	1	2	2
11	4	4	3	2	3
12	4	3	3	3	3
13	4	5	4	3	4
14	3	4	4	4	3
15	4	2	4	2	4
16	2	5	2	3	2
17	4	2	4	2	3
18	5	3	2	3	3
19	4	5	4	4	5
20	3	4	3	2	3
21	4	5	3	2	3
22	3	4	3	2	3
23	4	4	3	3	3
24	4	4	4	4	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25	3	5	3	4	4
26	5	4	4	3	4
27	4	5	4	4	4
28	2	4	3	3	3
29	3	4	2	2	3
30	4	4	4	3	4
31	4	5	3	3	3
32	4	3	4	2	4
33	3	5	4	3	4
34	4	3	4	4	4
35	4	3	3	3	3
36	4	3	3	3	3
37	5	4	2	2	3
38	4	4	4	3	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 15

ลำดับของผู้ชิม	สี	กลิ่น	รสชาด	ความข้น	การยอมรับรวม
1	4	2	2	4	2
2	3	3	3	2	2
3	5	4	3	2	3
4	3	4	4	4	4
5	4	2	3	5	4
6	3	5	2	2	2
7	5	2	4	4	5
8	5	4	4	4	4
9	4	3	3	4	4
10	3	3	3	3	3
11	3	3	3	4	3
12	4	2	2	3	4
13	3	3	2	4	3
14	3	2	4	4	2
15	4	3	3	2	3
16	4	4	3	4	4
17	4	2	4	4	4
18	4	4	2	4	4
19	3	4	4	4	4
20	3	4	4	4	4
21	4	3	3	3	3
22	4	3	3	2	3
23	4	3	4	4	4
24	3	3	2	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25	4	3	4	3	4
26	3	4	4	5	5
27	3	5	4	4	4
28	5	4	5	5	5
29	4	2	3	3	3
30	3	3	2	3	2
31	4	3	3	3	3
32	5	3	2	3	2
33	4	3	4	5	5
34	4	4	4	3	3
35	3	5	4	4	4
36	3	5	5	5	2
37	3	3	2	4	4
38	3	3	2	4	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20

ลำดับของผู้ชิม	สี	กลิ่น	รสชาด	ความข้น	การยอมรับรวม
1	4	2	1	3	2
2	4	4	3	4	3
3	5	3	3	2	3
4	4	4	4	5	4
5	3	3	4	3	3
6	3	4	4	4	4
7	3	4	5	5	4
8	5	3	4	4	4
9	4	3	4	3	5
10	3	2	4	4	4
11	3	3	4	3	4
12	4	3	4	4	4
13	4	4	3	3	3
14	4	3	4	3	4
15	4	3	3	3	3
16	3	3	4	5	5
17	4	2	4	3	3
18	5	3	4	3	4
19	4	5	3	4	4
20	3	4	4	4	4
21	4	4	4	4	4
22	4	4	4	2	3
23	3	3	5	4	5
24	4	4	2	2	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25	4	4	3	3	3
26	4	4	4	4	4
27	5	4	4	4	5
28	2	4	4	4	4
29	5	3	4	4	4
30	4	4	2	3	3
31	4	3	3	4	4
32	3	3	3	4	3
33	4	3	4	4	4
34	4	3	4	4	4
35	5	4	5	5	5
36	5	3	4	4	5
37	4	3	2	5	5
38	3	3	3	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ของค่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสีของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

ANOVA[a]

			Experimental Method				
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COLOR	Main Effects	(Combined)	17.781	39	.456	.792	.785
		TRT	.754	2	.377	.656	.522
		BLOCK	17.026	37	.460	.800	.770
	Model		17.781	39	.456	.792	.785
	Residual		42.579	74	.575		
	Total		60.360	113	.534		

a. COLOR by TRT, BLOCK

COLOR

Duncan[a]

TRT	N	Subset for alpha = .05
		1
20%	38	3.6842
10%	38	3.8421
15%	38	3.8684
Sig.		.306

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 38.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ของค่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกลิ่นของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

ANOVA[a]

			Experimental Method				
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ODOR	Main Effects	(Combined)	48.167	39	1.235	2.393	.001
		TRT	9.807	2	4.904	9.501	.000
		BLOCK	38.360	37	1.037	2.009	.005
	Model		48.167	39	1.235	2.393	.001
	Residual		38.193	74	.516		
	Total		86.360	113	.764		

a. ODOR by TRT, BLOCK

ODOR

Duncan[a]

TRT	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
20%	38	3.2895	
15%	38	3.3684	
10%	38		3.9474
Sig.		.679	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 38.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ของค่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของรสชาดของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

ANOVA[a]

			Experimental Method				
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TASTE	Main Effects	(Combined)	38.754	39	.994	1.589	.044
		TRT	3.070	2	1.535	2.455	.093
		BLOCK	35.684	37	.964	1.543	.057
	Model		38.754	39	.994	1.589	.044
	Residual		46.263	74	.625		
	Total		85.018	113	.752		

a. TASTE by TRT, BLOCK

TASTE

Duncan[a]

TRT	N	Subset for alpha = .05
		1
20%	38	3.2105
10%	38	3.3421
15%	38	3.6053
Sig.		.060

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 38.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 7 แสดงการวิเคราะห์ของค่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของความข้นเจลของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

ANOVA[a]

			Experimental Method				
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
GEL	Main Effects	(Combined)	45.491	39	1.166	2.184	.002
		TRT	13.807	2	6.904	12.925	.000
		BLOCK	31.684	37	.856	1.603	.043
	Model		45.491	39	1.166	2.184	.002
	Residual		39.526	74	.534		
	Total		85.018	113	.752		

a. GEL by TRT, BLOCK

GEL

Duncan[a]

		Subset for alpha = .05	
TRT	N	1	2
10%	38	2.8947	
20%	38		3.6053
15%	38		3.6579
Sig.		1.000	.775

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 38.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 แสดงการวิเคราะห์ของค่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

ANOVA[a]

			Experimental Method				
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ACCEPT	Main Effects	(Combined)	27.465	39	.704	1.115	.337
		TRT	3.947	2	1.974	3.126	.050
		BLOCK	23.518	37	.636	1.007	.478
	Model		27.465	39	.704	1.115	.337
	Residual		46.719	74	.631		
	Total		74.184	113	.656		

a. ACCEPT by TRT, BLOCK

ACCEPT

Duncan[a]

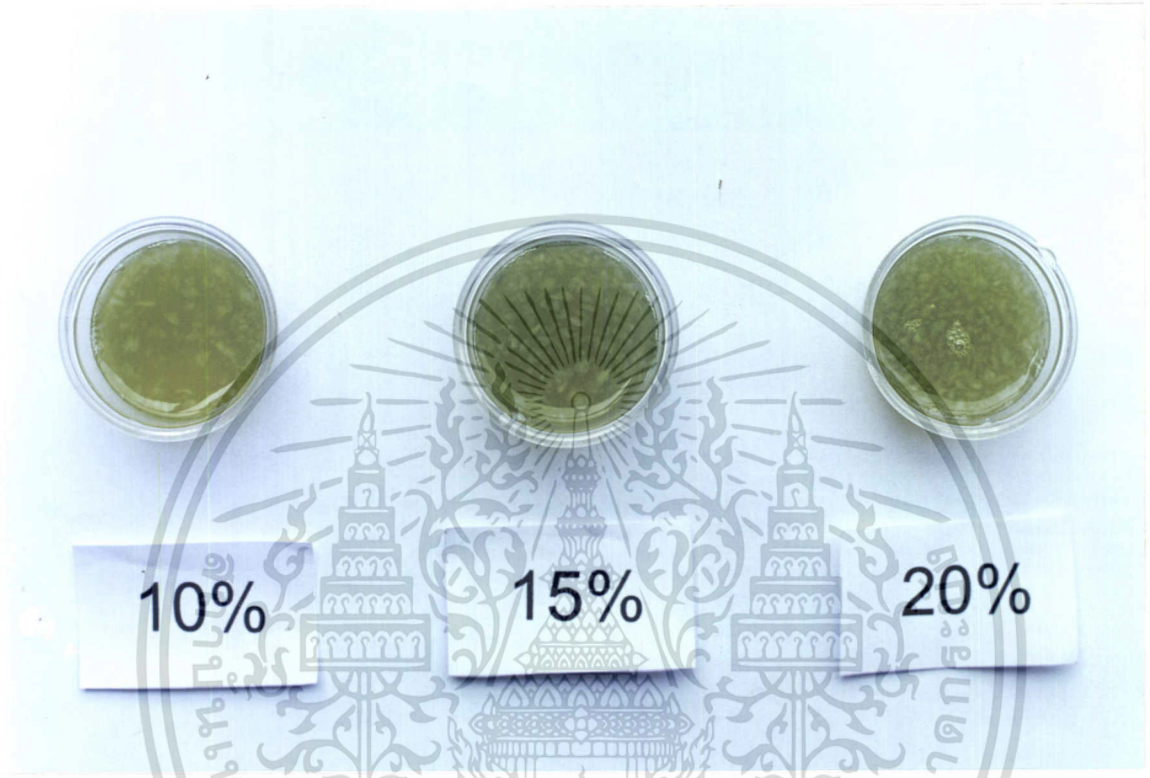
		Subset for alpha = .05	
TRT	N	1	2
10%	38	3.4211	
20%	38	3.4211	
15%	38		3.8158
Sig.		1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 38.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ



ภาพแสดง ผลิตภัณฑ์เจลโปรตีนในน้ำเชื่อมกลิ่นรสใบเตยที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้