ม1647

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
หอสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ผลของความเป็นกรดด่าง (pH) และสารประกอบโลหะที่มีต่อคุณภาพไข่เยี่ยวม้า

(Effect of pH and metallic compound on alkalized egg quality)

นางสาวเพชรี เคณาภูมิ รหัสนักศึกษา 45040151
นางสาวอลิสรา บรรดาศักดิ์ รหัสนักศึกษา 45040176

ปพ.
พ879พ
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....T6687
วัน,เดือน,ปี.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของความเป็นกรดด่าง (pH) และสารประกอบโลหะที่มีต่อคุณภาพไข่เยี่ยวม้า

(Effect of pH and metallic compound on alkalized egg quality)

จัดทำโดย

นางสาวเพชรี เคณาภูมิ รหัสนักศึกษา 45040151

นางสาวอลิสรา บรรดาศักดิ์ รหัสนักศึกษา 45040176

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 22 /มี.ค./49.

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาวเพชรี เคณาภูมิ และนางสาวอลิสรา บรรดาศักดิ์. 2549 : ผลของความเป็นกรดด่างและสารประกอบโลหะที่มีต่อคุณภาพไข่เยี่ยวม้า (Effect of pH and Metallic compound on Alkalized eggs quality). สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ

ไข่เยี่ยวม้าเป็นที่รู้จักแพร่หลายในภาคพื้นเอเชียนิยมทำจากไข่เป็ดมากกว่าไข่ชนิดอื่น ซึ่งใช้วิธีการแช่ในสารละลายด่างหรือพอกด้วยส่วนผสมที่เป็นด่าง และในปัจจุบันการผลิตไข่เยี่ยวม้ามีการใช้สารประกอบตะกั่วเพื่อควบคุมให้ไข่ขาวที่รวมตัวเป็นวุ้นมีความคงตัวไม่คืนเป็นน้ำ แต่เนื่องจากตะกั่วเป็นสารประกอบโลหะหนักซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายจึงไม่ควรใช้ในการผลิตไข่เยี่ยวม้า ปัญหาพิเศษนี้จึงมุ่งศึกษาผลของความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายและสารประกอบโลหะที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า พบว่า pH ของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลเมื่อแช่ไข่เป็นเวลา 4 สัปดาห์ คือ pH 13.00 ไข่ที่ได้จะเกิดเจลแต่คุณภาพของเจลยังไม่ดีพอ เนื่องจากลักษณะของเจลอ่อนตัว ไม่แข็งแรง การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวจะมีค่า pH อยู่ในช่วง 10.08-10.55 และ 10.57-10.91 ตามลำดับ ถ้าไข่แดงมีค่า pH สูงกว่า 10.55 ไข่จะมีลักษณะเป็นก้อนกลม แข็ง ไม่ยืดหยุ่น ส่วนไข่ขาวถ้ามีค่า pH สูงกว่า 10.91 ไข่ที่แข็งตัวเป็นเจลจะคืนตัวเหลวกลายเป็นน้ำสีน้ำตาลเข้ม จึงคาดว่าถ้าเติมสารประกอบโลหะเข้าไปจะทำให้เจลมีความคงตัว และแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาทดลองผลิตไข่เยี่ยวม้าโดยเติมสารประกอบโลหะอื่นๆ แทนสารประกอบตะกั่ว พบว่าไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 13.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งเติมสารประกอบโลหะ CuO ความเข้มข้น 300 mg/L ในสารละลายที่ใช้ในการแช่ จะเกิดเป็นไข่เยี่ยวม้าที่มีคุณภาพดีที่สุด ลักษณะเจลของไข่มีความคงตัวทั่วทั้งฟอง เจลมีความแข็งแรง และยืดหยุ่นดี นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะเจลของไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากการเติม ZnO ความเข้มข้น 1000 , 500 และ 300 mg/L เกิดเจลที่มีคุณภาพดีรองลงมาตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองทั้งหมดพบว่า pH ของสารละลายเป็นปัจจัยหลักในการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าที่จะก่อให้เกิด pH ของไข่แดงและไข่ขาวที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล สำหรับสารประกอบโลหะจะเป็นส่วนที่ช่วยให้เจลของไข่เกิดความคงตัว แข็งแรงมากยิ่งขึ้น

เพชรี เคณาภูมิ		22 มี.ค 49
อลิสรา บรรดาศักดิ์	(ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ)	วัน/เดือน/ปี
ลายมือชื่อนักศึกษา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การนำเสนอปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่อง ผลของความเป็นกรดด่างและสารประกอบโลหะที่มีต่อคุณภาพไข่เยี่ยวม้านี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษของข้าพเจ้า ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาคอยแนะนำ ให้คำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างมาก รวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่ให้กำลังทรัพย์ทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจโดยตลอด

เพชรี เดณาภูมิ

อสิสรา บรรดาศักดิ์

21 มีนาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ก

กิตติกรรมประกาศ ข

สารบัญ ค

สารบัญตาราง จ

สารบัญภาพ ช

สารบัญภาคผนวก ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

2.1 โครงสร้างของไข่ 2

2.2 ส่วนประกอบของไข่ขาว 4

2.3 ส่วนประกอบของไข่แดง 10

2.4 คุณสมบัติของโปรตีน 12

2.5 เจล 15

2.6 การผลิตไข่เยี่ยวม้า 17

2.7 ลักษณะโดยทั่วไปของไข่เยี่ยวม้า 18

2.8 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในไข่เยี่ยวม้า 18

2.9 คุณค่าทางอาหารของไข่เยี่ยวม้า 20

2.10 การปนเปื้อนของสารตะกั่วในไข่เยี่ยวม้า 21

2.11 โรคพิษจากพิษสังกะสี 23

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง 24

3.2 วัตถุดิบ 24

3.3 สารเคมี 24

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 25

3.5 ศึกษาเบื้องต้นของระดับ pH ของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.6 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล 26
3.7 การตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาว 27
3.8 การตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาว 27
3.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ 27
บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์การทดลอง
4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลาย
ในระดับต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า 28
4.2 ผลของสารประกอบโลหะที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า
เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่เติมสารประกอบโลหะเป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่ระดับ pH 13.00 43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 49
เอกสารอ้างอิง 51
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก 53
ภาคผนวก ข 54
ภาคผนวก ค 55
ภาคผนวก ง 58
ภาคผนวก จ 61
ภาคผนวก ฉ 64
ภาคผนวก ช 67
ภาคผนวก ซ 70
ภาคผนวก ฌ 73
ภาคผนวก ญ 76
ภาคผนวก ฎ 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของไข่ขาว ไข่แดงและไข่ทั้งฟอง 4
ตารางที่ 2.2 แสดงอัตราส่วนและปริมาณความชื้นในไข่ขาว 5
ตารางที่ 2.3 แสดงโปรตีนในไข่ขาว 6
ตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณและชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในโปรตีนชนิดต่างๆในไข่ขาว 9
ตารางที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆในไข่ขาวที่พบในไข่ทั้งฟอง 9
ตารางที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของกรดไขมันในส่วนของไข่แดง 10
ตารางที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของโปรตีนส่วนต่างๆในไข่แดง 11
ตารางที่ 2.8 แสดงคุณค่าอาหารของไข่เป็ดสดและไข่เยี่ยวม้าจากไข่เป็ด(ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้) 21
ตารางที่ 3.1 แสดงชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะที่เติมลงในสารละลายที่ใช้ในการแช่ไข่ 27
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 11.50, 12.00,12.5 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่สารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์ 29
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 11.50 , 12.00 ,12.50 และ 13.00 เป็นเวลา 1 สัปดาห์ 31
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 12.50, 13.00,13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่สารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์ 33
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 12.50 , 13.00 ,13.50 และ 13.75 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ 35
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่สารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.6 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 12.75 , 13.00 และ 13.25 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ 38

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่สารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์ 39

ตารางที่ 4.8 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 13.00 และ 13.25 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ 41

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่เติมสารประกอบโลหะ ที่ระดับ pH 13.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ 44

ตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 13.00 และเติมสารประกอบโลหะ PbO ความเข้มข้น 500 mg/L และ CuO , ZnO , $FePO_4$ ความเข้มข้น 300 ,500 และ 1000 mg/L เป็นเวลา 4 สัปดาห์ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างภาพตัดตามขวางของไข่ทั้งฟอง 2
ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง metal ion (M^{+n}) และโปรตีน ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอน 13
ภาพที่ 2.3 การเกิดเจลโดยการรวมตัวของโกลบูลาร์โปรตีน (globular protein) 17
ภาพที่ 2.4 รูปทรงของไดเมอร์ในการเกิดสายโพลีเมอร์เส้นตรงของโอวัลบูมิน 17
ภาพที่ 2.5 การสร้างพันธะยึดกันของโปรตีนกับแทนนิน 20
ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาระหว่าง lead ion (Pb^{2+}) และโปรตีน 22
ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 กับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว 29
ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 กับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว 30
ภาพที่ 4.3 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ pH 11.50 , 12.00 ,12.50 และ 13.00 เป็นเวลา 1 สัปดาห์ 30
ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 กับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว 33
ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 กับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว 34
ภาพที่ 4.6 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 12.50 , 13.00 ,13.50 และ 13.75 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ 34
ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 12.75, 13.00 และ 13.25 กับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว 36
ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 12.75, 13.00 และ 13.25 กับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว 37
ภาพที่ 4.9 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 12.75,13.00 และ 13.25 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 13.00 และ 13.25 กับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว 39

ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 13.00 และ 13.25 กับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว 40

ภาพที่ 4.12 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 13.00 และ 13.25 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ 40

ภาพที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโลหะกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH ของสารละลาย 13.00 44

ภาพที่ 4.14 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 13.00 และเติมสารประกอบโลหะ PbO ความเข้มข้น 500 mg/L และ CuO , ZnO , $FePO_4$ ความเข้มข้น 300 ,500 และ 1000 mg/L เป็นเวลา 4 สัปดาห์ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาคผนวก

หน้า

ภาคผนวก ก การทำไข่เยี่ยวม้าแบบแช่ในสารละลาย 53

ภาคผนวก ข เครื่อง pH meter 54

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์ 55

ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์ 58

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์ 61

ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์ 64

ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์ 67

ภาคผนวก ซ ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์ 70

ภาคผนวก ฌ ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์ 73

ภาคผนวก ญ ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์ 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ภาคผนวก ฎ ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว
โดยการแปรชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะ เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ
pH 13.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ไข่เป็นอาหารที่ทุกคนรู้จักกันอย่างดีและมีประโยชน์โดยเฉพาะเป็นแหล่งของโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดที่ร่างกายต้องการในปริมาณสูง มีการนำไข่มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภทเนื่องจากไข่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ในอาหารที่สำคัญหลายอย่างเช่น การเกิดอิมัลชัน การเกิดโฟม เป็นสารเชื่อม การเกิดเจล เพิ่มสี กลิ่นและรสชาติในอาหาร เป็นต้น ไข่เยี่ยวม้าก็เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่อาศัยคุณสมบัติการเกิดเจลของไข่

ไข่เยี่ยวม้าเป็นอาหารที่มีชื่อเสียงของจีนมาแต่โบราณโดยนิยมทำจากไข่เป็ดมากกว่าไข่ชนิดอื่น เนื่องจากมีเปลือกบางโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายด่างหรือพอกด้วยส่วนผสมที่เป็นด่างโดยทั่วไปประกอบด้วยปูนขาว เกลือแกง ชาใบ โซดาแอช (Na_2CO_3) หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ไข่เยี่ยวม้าจะสุกด้วยด่างโดยไม่ต้องต้มหรือให้ความร้อน สีและลักษณะทั่วๆไปของไข่เยี่ยวม้าจะผันแปรไปตามระยะเวลาการผลิตและอายุการเก็บ (ฉันทนาและคณะ,2532)

การผลิตไข่เยี่ยวม้าตามวิธีดั้งเดิมโดยเฉพาะวิธีการแบบพอกต้องใช้เวลานาน ส่วนวิธีการผลิตแบบแช่ในสารละลายใช้เวลาสั้นกว่าแต่การควบคุมค่อนข้างลำบากซึ่งการผลิตทั้งสองวิธียังมีการสูญเสียมากเนื่องจากวุ้นของไข่ขาวมีการคืนตัวเป็นน้ำเหลวจึงทำให้ผู้ผลิตบางรายนำสารเคมีที่เป็นอันตรายบางชนิดเช่น สารประกอบตะกั่ว ที่ช่วยให้การผลิตไข่เยี่ยวม้าได้ผลรวดเร็วและมีการสูญเสียต่ำ ดังนั้นจึงมีการศึกษาสภาวะของความเป็นกรดด่าง(pH) และ สารประกอบโลหะที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อทำการศึกษาเบื้องต้นของระดับความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า

1.2.2. เพื่อศึกษาผลของความเป็นกรดด่าง (pH) ของไข่ที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล

1.2.3. เพื่อศึกษาผลของสารประกอบโลหะที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า

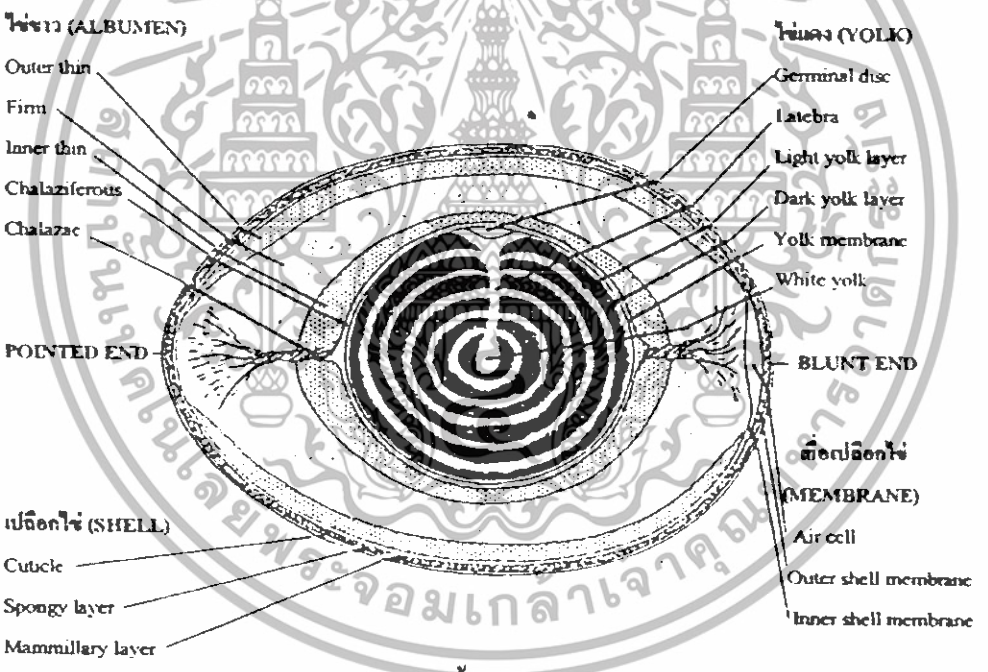
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 โครงสร้างไข่

ไข่ที่ได้จากสัตว์ปีกชนิดต่างๆส่วนใหญ่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ ไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่ มีสัดส่วนไล่เลี่ยกันทุกฟองแต่ปริมาณต่างกันตามขนาดและชนิดของสัตว์ปีก ไข่ฟองหนึ่งๆจะมีไข่ขาวอยู่ 6 ส่วน ไข่แดง 3 ส่วนและเปลือกไข่ 1 ส่วน (สุวรรณ,2529)



ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างภาพตัดตามขวางของไข่ทั้งฟอง

ที่มา:Stadelman and Cotterill (1977)

ไข่ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

2.1.1 เปลือกไข่

มีประมาณ 11 % ของน้ำหนักไข่ทั้งฟอง เป็นแคลเซียมคาร์บอเนทประมาณ 94 % แคลเซี่ยมฟอสเฟท 1% แมกนีเซียมคาร์บอเนท 1% และอินทรีย์สาร 4% ของน้ำหนักเปลือกแห้ง วัตถุคล้ายผงแป้งที่ผิวไข่บางคนเรียกว่านวลไข่ (bloom) ผิวไข่มีองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับของเยื่อหุ้มไข่ ถัดผิวไข่เข้าไปเป็นเปลือกแข็งชั้นนอก(spongy layer) เป็นชั้นละเอียดแน่น เริ่มด้วยผลึกทรงตั้งเรียงรายรอบด้านนอก ถัดเข้าไปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกละเอียดเรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ การที่เปลือกไข่มีสีเนื่องจากได้รับเม็ดสีที่เปลี่ยนแปลงมาจากโลหิต อย่างไรก็ดีคุณค่าทางอาหารของไข่เปลือกสีขาวกับสีน้ำตาลหรือสีอื่นๆนั้นไม่ต่างกัน ถัดเปลือกชั้นนอกนี้เป็นเปลือกชั้นใน (mammillary layer) ผลึกหินปูนของชั้นนี้เคลือบคลุมรอบนอกของเยื่อหุ้มไข่มีลักษณะเป็นปุ่มๆ ขรุขระตามลักษณะของพื้นเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก รูผิวไข่เป็นรูทะลุถึงกันระหว่างผิวภายนอกของเปลือกกับช่องว่างต่างๆของเปลือกชั้นใน ไข่ที่ออกใหม่ที่รูผิวไข่จะมีวัตถุพวกเดียวกับเปลือกไข่ เคลือบผิวไข่ไว้ช่วยให้น้ำระเหยออกจากไข่ได้ยาก ช่องว่างอากาศจะปรากฏได้ภายหลังจากไข่ออกพ้นจากก้นแม่ไก่ อุณหภูมิของไข่ที่ออกมาใหม่ๆ ประมาณ 104°ฟ ช่องอากาศนี้จะเกิดจากการหดตัวไม่เท่ากันระหว่างเปลือกกับเนื้อไข่ ช่องอากาศนี้จะปรากฏขึ้นที่ด้านป้านของฟองไข่ จากการแยกกันระหว่างเยื่อหุ้มไข่ 2 ชั้น

2.1.2 เยื่อหุ้มไข่

เป็นสารประกอบไนโตรเจนเช่นเดียวกับเล็บเท้าและขน มีลักษณะเป็นเส้นๆ ประสานกันคล้ายผ้าที่ถักเป็นผืน(knitlacelike) เยื่อหุ้มไข่มี 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นส่วนที่ติดกับเปลือกไข่หนาประมาณ 48 มิลลิไมครอน เยื่อชั้นในหนาประมาณ 22 ไมครอน สามารถป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้เข้าไปได้ เยื่อหุ้มไข่ทั้งสองชั้นนี้จะชิดกันไปตลอดแต่ไปแยกกันที่ด้านป้านของไข่ซึ่งมีโพรงอากาศ โปรตีนของเยื่อเปลือกไข่ประกอบด้วยกรดอะมิโนพวกฮิสติดิน (histidine) ซีสทีน (cystine) และโพรลีน (praline) ในปริมาณสูงแต่มีปริมาณไกลซีน (glycine) ต่ำ เมื่อเทียบกับโปรตีนของนวลไข่หรือโปรตีนของเปลือกไข่

2.1.3 ไข่ขาว

มีอยู่ 58% ของน้ำหนักไข่อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือชั้นนอกสุดเป็นไข่ขาวเหลวชั้นนอก (outer thin white) ร้อยละ 23.2 ของไข่ขาวทั้งหมด อยู่ระหว่างเยื่อหุ้มไข่กับไข่ขาวส่วนข้น เว้นแต่ตอนหัวท้ายของฟองไข่ ซึ่งเป็นที่ๆ ไข่ขาวข้นยึดติดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นใน ถัดเข้าไปเป็นไข่ขาวข้นชั้นนอก (outer thick white) ร้อยละ 57.3 ของไข่ขาวทั้งหมด เป็นส่วนที่ห่อหุ้มไข่ขาวเหลวชั้นในกับไข่แดง โอโวมิวคอยด์เป็นตัวทำให้ไข่ขาวมีลักษณะข้นๆ ส่วนชั้นในอีกสองชั้นคือไข่ขาวเหลวชั้นใน (inner thin white) ร้อยละ 16.8 ของไข่ขาวทั้งหมด ห่อหุ้มเยื่อหุ้มไข่แดง (chalaziferous) ไว้โดยรอบ ชั้นในสุดไข่ขาวข้นชั้นในหรือชั้นเยื่อห่อหุ้มไข่แดง(inner thick white or chalaziferous) ร้อยละ 2.7 ของไข่ขาวทั้งหมด มีลักษณะข้นแต่บางและเหนียวกว่าไข่ขาวอื่นๆ โดยทั่วๆไปไข่ขาวข้นชั้นนอกจะมีปริมาณครึ่งหนึ่งของไข่ขาวทั้งหมด อย่างไรก็ตามปริมาณเหล่านี้จะแปรผันไปตามพันธุ์ สภาพแวดล้อม ขนาดของไข่และผลผลิตของไข่

2.1.4 ไข่แดง

มีอยู่ประมาณ 31% ของน้ำหนักไข่ทั้งฟอง จำแนกออกเป็นส่วนต่างๆดังนี้คือชั้นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน (light yolk) และชั้นสีเหลืองเข้ม (dark layer) สลับกันสีเหล่านี้เกิดจากแคโรทีนอยด์พิกเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(carotenoid pigments) ซึ่งประกอบไปด้วยแคโรทีน(carotene) และกริปโตแซนติน(cryptoxanthin) ซึ่งเป็นแซนโทฟิล (xanthophyl) ที่ละลายในแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังมีวิตามินเอซึ่งช่วยให้เกิดสีด้วย ไข่แดงมีเยื่อบางๆเรียกว่า ยอล์คเมมเบรน(yolk membrane) ซึ่งทำหน้าที่หุ้มไข่แดงให้คงรูปส่วนตรงกลางของไข่แดงมีสีขาว(white yolk) อยู่ติดกับส่วนที่เจริญเป็นตัวอ่อนนอกจากนี้ในไข่แดงยังประกอบไปด้วย latebra (ทำหน้าที่ช่วยให้ germinal disc ตั้งตรง) และ germinal disc (Blasdoderm) ซึ่งเป็นจุด (spot) อยู่ที่ผิวของไข่แดงโดยจะเจริญเป็นตัวอ่อนต่อไป ไข่แดงอยู่ตรงกลางฟองไข่ได้ด้วยการยึดของ chalaza ซึ่งเป็นเกลียวแข็งๆอยู่ด้านหัวและท้ายของไข่แดงและยื่นเข้าไปในไข่ขาว ไข่แดงมีความเข้มข้นกว่าไข่ขาวมากเพราะมีน้ำน้อยกว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ในไข่แดงมีประมาณร้อยละ 50 ขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำในไข่ขาวจะเคลื่อนย้าย(migrates) เข้าไปในไข่แดงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในไข่แดงลดลง โปรตีนสำคัญของไข่แดงได้แก่ โอโวไวเทลลิน ซึ่งมีอยู่ ¾ ของโปรตีนในไข่แดง ถัดไปคือ โอโวไลเวททิน ไขมันในไข่แดงส่วนใหญ่คือ กลีเซอไรด์ เลซิทิน คอเรสเตอรอล ไข่แดงมีวิตามินสำคัญต่างๆ ทุกอย่างนอกจากวิตามินซี เยื่อหุ้มไข่แดง เป็นโปรตีนคล้ายกับโปรตีนไข่ขาว น้ำผ่านเข้าออกได้ดีพอใช้ ความข้นของไข่แดงทำให้น้ำจากภายนอกซึมเข้าไปเจือจางได้ ทำให้ไข่แดงขยายตัวขึ้น ไข่ที่เก็บไว้นานวันเวลาต่อยเทลงบนภาชนะแบนๆไข่แดงจะนูนน้อยลง ไข่ยิ่งเก่าไข่แดงยิ่งแบนราบลง

2.2 ส่วนประกอบของไข่ขาว

ส่วนประกอบสำคัญของไข่ขาวคือโปรตีนซึ่งจะแปรผันไปตามอายุของสัตว์ พบว่าในไข่ขาวจะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.09 กรัม ต่อไข่ซึ่งมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กรัม ส่วนไขมันในไข่ขาวมีปริมาณต่ำมาก สำหรับคาร์โบไฮเดรตจะพบในรูปของกลูโคส(glucose) ประมาณร้อยละ 0.4 และพบในรูปของไกลโคโปรตีน (glycoprotein) เช่น แมนโนส (mannose) และกาแลคโตส (galactose) ประมาณร้อยละ 0.5 ตามตารางที่ 2.1
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของไข่ขาว ไข่แดงและไข่ทั้งฟอง

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

ที่มา:รัชนี (2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของไข่ขาว ความชื้นจะลดลงเป็นลำดับจากชั้นนอกสุดคือ ไข่ขาวเหลวชั้นนอก (outer thin white) ไข่ขาวข้นชั้นนอก(Outer thick white)ไข่ขาวเหลวชั้นใน (Inner thin white) จนถึงชั้นในสุดไข่ขาวข้นชั้นใน (inner thick white)

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนและปริมาณความชื้นในไข่ขาว

ชั้น (layer)	ปริมาณร้อยละของไข่ขาว (Albumin)		
	ช่วง(range)	ค่าเฉลี่ย(mean)	ความชื้น(moisture) ร้อยละ
ไข่ขาวเหลวชั้นนอก (Outer thin white)	10-60	23.2	88.8
ไข่ขาวข้นชั้นนอก (Outer thick white)	30-80	57.3	87.6
ไข่ขาวเหลวชั้นใน (Inner thin white)	1-40	16.8	86.4
ไข่ขาวข้นชั้นใน (Inner thick white)	-	2.7	84.3

ที่มา: ฉันทนาและคณะ (2532)

2.2.2 โปรตีน

โปรตีนในไข่ขาวที่สำคัญได้แก่ โอวัลบูมินโอโวมิวซิน โอโวมิวคอยด์ โอโวโกลบูลิน คอนอัลบูมิน และไลโซไซม์ โปรตีนแต่ละตัวมีคุณสมบัติและลักษณะบางประการแตกต่างกัน แสดงอยู่ในตารางที่ 2.3 โปรตีนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังนี้ (Stadelman and Cotterill ,1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 โปรตีนในไข่ขาว

ชนิดโปรตีน	ปริมาณที่พบ %	pI[a]	น้ำหนักโมเลกุล (dal)	T[b]* (°ซ)	ลักษณะเฉพาะ
Ovalbumin	54.0	4.6	$4.5x10^4$	84	Phosphoglycoprotein
Conalbumin	13.0	6.6	$8.0x10^4$	61	รวมตัวกับโลหะโดยเฉพาะ
Ovomucoid	11.0	3.9-4.3	$2.8x10^4$	79	เหล็ก
Lysozyme	3.5	10.7	$1.46x10^4$		ยับยั้งเอนไซม์ Trypsin
(G_1 globulin)					ทำลายแบคทีเรียบางส่วน
G_2 globulin	4.0	5.5	$3\text{-}4.5x10^4$	92.5	-
G_3 globulin	4.0	5.8	-	64-66	-
Ovomucin	1.5	4.5-5.0	$2.1 x10^5$	-	Sialoprotein
Flavoprotein	0.8	4.1	$3.5 x10^4$	84	รวมตัวกับ riboflavin
Ovoglycoprotein	0.5	3.9	$2.4 x10^4$	-	Sialoprotein
Ovomacroglobulin	0.5	4.5-4.7	$7.6\text{-}9.0x10^5$	-	-
Ovoinhibitor	0.1	5.2	$4.4x10^4$	-	ยับยั้งเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนได้หลายชนิด
Avidin	0.05	9.5	$5.3 x10^4$	85	รวมตัวกับ biotin

หมายเหตุ

a คือ Isoelectric point

b คืออุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพ(ที่pH7) (denaturation temperature)

ที่มา Stadelman and Cotterill (1977) ; *Woodward (1990)

โอวัลบูมิน(Ovalbumin) เป็นโปรตีนที่มีอยู่มากที่สุดในไข่ขาวคือประมาณร้อยละ 54 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 45,000 โปรตีนชนิดนี้เป็นพวกฟอสโฟไกลโคโปรตีน(Phosphoglycoprotein) คือ มีคาร์โบไฮเดรทและฟอสเฟตประกอบอยู่โดยมีไดซัลไฟด์ 2 กลุ่มต่อ 1โมเลกุล สำหรับคาร์โบไฮเดรทที่พบมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1560-1580 ซึ่งประกอบไปด้วย ดี-แมนโนส (D-mannose) ร้อยละ 2 และ2-อะมิโน-2-ดีออกซี-ดี-กลูโคส (2-amino-2-deoxy-D-glucose) ร้อยละ 1.2 โดยจะเกาะติดกับโพลีเปปไทด์ (polypeptide) ตรงแอสพาราจีน (asparagines) โอวัลบูมินมีจุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ที่ pH 4.6-4.8 ถูกทำให้ตกตะกอนได้โดยสารที่ทำให้เสียสภาพต่างๆหรือโดยการเขย่า แต่มีความคงทนต่อความร้อน ที่ pH 9 เมื่อให้อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

62 องศาเซลเซียสในระยะเวลานาน 3.5 นาที ทำให้โอวัลบูมินเปลี่ยนแปลงได้เพียงร้อยละ 3-5 และจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ pH 7

คอนอัลบูมิน (Conalbumin) พบในไข่ขาวประมาณร้อยละ 13 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 80,000 ในโมเลกุลของคอนอัลบูมินไม่มีฟอสฟอรัสและหมู่ซัลไฟดริล (sulfhydryl groups) อยู่เลยแต่พบว่าประกอบไปด้วยเฮกโซส (hexose) ร้อยละ 8 และเฮกโซซามีน (hexosamine) ร้อยละ 1.4 คอนอัลบูมินมีจุดไอโซอิเล็กตริกที่ pH 6.6 โปรตีนชนิดนี้ทนความร้อนได้ไม่ดีเท่าโอวัลบูมินแต่ทนทานต่อการจับตัวกันเนื่องจากการตีหรือกวนได้ดีกว่า ที่ pH มากกว่า 6 โลหะที่มีวาเลนซีสองและสาม โดยเฉพาะ Fe(III),Al(III),Cu(II) และ Zn(II) จำนวน 2 อะตอมรวมเป็นสารประกอบกับคอนอัลบูมินให้สีแดง, ไม่มีสี,เหลือง และไม่มีสี ตามลำดับ สารประกอบเหล่านี้จะทนทานต่อความร้อนและการย่อยสลาย การเกิดเป็นสารประกอบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาที่เรียกว่า คีเลชัน (Chelation) เป็นการรวมตัวกันของโลหะ, หมู่ฟีโนลิคไฮดรอกซิล(phenolic hydroxyl groups) 3 กลุ่ม และคาร์บอเนตไอออน (carbonate ion) 1 ตัว โดยมีหมู่ไนโตรเจน (nitrogen groups) เข้าไปเกี่ยวข้องด้วย

โอโวมิวคอยด์ (Ovomucoid) เป็นพวกไกลโคโปรตีน (glycoprotein) คือโปรตีนที่มีคาร์โบไฮเดรทประกอบอยู่ด้วย พบในไข่ขาวประมาณร้อยละ 12 โดยมีน้ำหนักโมเลกุล 27,000-29,000 และมีจุดไอโซอิเล็กตริกที่ pH 3.9-4.3 โปรตีนชนิดนี้ทนความร้อนได้ดีมากแม้จะให้ความร้อนนานเป็นชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่า ความหนืดเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก นอกจากนี้โอโวมิวคอยด์ ยังเป็นตัวยับยั้งของปฏิกิริยาเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนและทริปซิน(trypsin) ในสารละลายที่เป็นกรด โอโวมิวคอยด์สามารถทนต่อความร้อนได้ดีมากแต่ในสารละลายที่เป็นด่าง(pHประมาณ 9) โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายมากเมื่อทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โอโวมิวคอยด์เป็นโพลีเปปไทด์ชนิดโซ่เดี่ยวซึ่งเป็นแบบเฮลิก(helix) และแรนดอม คอยล์ (random coils)โดยที่ทุกๆ 11 ตัวของกรดอะมิโนที่ต่อกันเป็นลูกโซ่จะมีไดซัลไฟด์ (disulfide) เชื่อมอยู่ 1 ตัวและในแต่ละโซ่จะมีทั้งหมด 8 ไดซัลไฟด์ ลิงเกจ (disulfide linkage)

ไลโซไซม์ (Lysozyme) เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 14,300-14,600 และมีจุดไอโซอิเล็กตริกที่ pH 10.7 โปรตีนชนิดนี้ประกอบด้วยกรดอะมิโน 129 ตัวมีพันธะไดซัลไฟด์(disulfide bonds) 4 พันธะแต่ไม่มีหมู่ซัลไฟดริล ไลโซไซม์มีความคงตัวสูงต่อสารที่ทำให้เสียสภาพต่างๆ แต่ในสารละลายด่างอย่างอ่อนจะถูกยับยั้ง (inactivated)ได้โดยทองแดงและสารเคมีหลายชนิด อย่างไรก็ตามการยับยั้งปฏิกิริยาของไลโซไซม์จะขึ้นกับ pH และอุณหภูมิ โปรตีนชนิดนี้จะทนความร้อนได้ถึง 50 เท่าในสารละลายบัฟเฟอร์ของฟอสเฟต

โอโวมิวซิน (Ovomucin) ประกอบด้วยคาร์ไฮเดรทประมาณร้อยละ 33 โอโวมิวซินทำให้เกิดลักษณะคล้ายวุ้นซึ่งมีในส่วนของไข่ขาวข้น(thick white) มากเป็น 4 เท่าของไข่ขาวเหลว (thin white) โดยเฉลี่ยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอโวมิวซินในไข่ขาวพบประมาณร้อยละ 1.5 ซึ่งจะพบในไข่เปิดในปริมาณต่ำกว่าในไข่ไก่และไข่ไก่งวง เมื่อเจือจางไข่ขาวด้วยน้ำ 2-3 เท่า(pH6-8) หรือลดความเป็นกรดด่างของไข่ขาวให้มี pH 4 จะทำให้โอโวมิวซินตกตะกอนซึ่งตะกอนนี้จะละลายได้ในสารละลายที่ pH 4 หรือในสารละลายด่าง โดยปกติโปรตีนชนิดนี้จะทนทานต่อความร้อนได้ดี พบว่าที่ pH 7.1 และ pH 9.4 โอโวมิวซินจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดหรือความหนาแน่น เมื่อทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง โอโวมิวซินสามารถรวมตัวกับไลโซไซม์ได้เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ(ovomucin - lysozyme complex) ซึ่งเชื่อกันว่ามีผลอย่างมากกับไข่ขาวที่มีการเหลวมากขึ้น โดยเฉพาะในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีระหว่าง pH 7.2-10.4 ซึ่งเป็นช่วงที่ไข่สูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ pH สูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ประมาณ pH 9 อย่างไรก็ตามเมื่อ pH สูงกว่า 10.4 สารประกอบดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ช้าลง นอกจากนี้โอโวมิวซินยังประกอบไปด้วยกาแลคโตส (galactose) ร้อยละ 9.3 แมนโนส (mannose) ร้อยละ1.4 กลูโคซามีน (glucosamine) ร้อยยละ 9.1 กาแลคโตซามีน (galactosamine) ร้อยละ 4.8 และกรดไซอะลิค (sialic acid) ร้อยละ 8.7

อะวิดิน (Avidin) เป็นโปรตีนที่พบในไข่ขาวประมาณร้อยละ 0.05 น้ำหนักโมเลกุล 48,000-66,000 และมีจุดไอโซอิเล็กตริกที่ pH 9.5-10 อะวิดิน 1 โมเลกุลประกอบด้วยไบโอติน 3 โมเลกุล อะวิดินไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่ำๆ โปรตีนชนิดนี้ค่อนข้างคงตัวถึงแม้ว่า pH จะเปลี่ยนแปลงไปแต่จะถูกยับยั้งปฏิกิริยาได้เมื่อถูกกับความร้อน

โอโวโกลบูลิน (Ovoglobulins) ประกอบไปด้วยไลโซไซม์, G_2และ G_3 เฉพาะ G_2 มีน้ำหนักโมเลกุล 35,000 และมีจุดไอโซอิเล็กตริกที่ pH 5.5 โอโวโกลบูลินมีคุณสมบัติทำให้เกิดฟองได้(foam-forming property) เมื่อถูกความร้อนโปรตีนชนิดนี้จะตกตะกอน

โอโวอินฮิบิเตอร์(Ovoinhibitor) เป็นโปรตีนที่ยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน โดยเฉพาะพวกทริปซินและไคโมทริปซิน(chymotrypsin) และเอนไซม์ย่อยสลายโปรตีนของราและแบคทีเรีย พบว่าโปรตีนชนิดนี้ไม่มีกรดไซอะลิคอยู่ในโมเลกุล

ฟลาโวโปรตีน (Ovoflavoprotein) เป็นโปรตีนที่มีไรโบฟลาวิน (riboflavin) ประกอบอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คาร์โบไฮเดรต

ในไข่จะมีคาร์โบไฮเดรตน้อยมากประมาณฟองละ 0.5 กรัม ราว 3 ใน 4 ส่วนจะอยู่ในไข่ขาว ซึ่งมีทั้งชนิดที่อยู่ในรูปอิสระและที่รวมตัวกับสิ่งอื่น ในรูปอิสระนั้นจะเป็นกลูโคสหรือที่รวมกันเป็นกาแลคโตส ที่รวมกับพวกลิปิด เช่น ฟอสโฟลิปิด ซีรีโปรไซด์(cerebrosides)ในไข่แดง กับในรูปไกลโคโปรตีนและในรูปรวมกับโปรตีนสามัญต่างๆในไข่ขาว คอนอัลบูมินซึ่งเป็นกึ่งคาร์โบไฮเดรตนั้น ประกอบด้วยแมนโนส 3 ส่วน กับกาแลคโตส 1 ส่วน ในโอโวมิวซินนั้นประกอบด้วยแมนโนสกับกาแลคโตสเท่าๆกัน ในโอโวโกลบูลินมีแต่แมนโนสอย่างเดียว ร้อยละของคาร์โบไฮเดรตในไข่ขาวโดยประมาณมีดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณและชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในโปรตีนชนิดต่างๆในไข่ขาว

มีอยู่ใน	ชนิดคาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ
Simple protein		
Ovalbumin	Mannose	1.7
Conalbumin	Mannose and galactose	2.8
Ovoglobulin	Mannose	4.0
Glycoproteins		
Ovomucin	Mannose and Galactose	14.9
Ovomucoid	Mannose and Galactose	8.2

ที่มา:สุวรรณ (2529)

2.2.4 แร่ธาตุ

ไข่ขาวประกอบด้วยแร่ธาตุต่างหลายชนิดดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ปริมาณของสารเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กินรวมถึงสภาวะแวดล้อม อุณหภูมิ ฤดูกาลและอายุของสัตว์

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆในไข่ขาวที่พบในไข่ทั้งฟอง

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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ส่วนประกอบของไข่แดง

องค์ประกอบสำคัญของไข่แดงคือ ไขมันร้อยละ 32-36 ปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ปริมาณโปรตีนของไข่แดงมีประมาณร้อยละ 15.7 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1 และแร่ธาตุอีกประมาณร้อยละ 1 เช่นกัน ส่วนของไขมันในไข่แดงประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ประมาณร้อยละ 65.5 ,ฟอสโฟลิพิด (phospholipids)ร้อยละ 28.3 ,คอเลสเทอรอล (chloresterol)ร้อยละ 5.2 และไขมันอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย ไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยกลีเซอรอลจับกับกรดไขมัน ปริมาณกรดไขมันในไขมันของไข่แดง แสดงอยู่ในตารางที่ 2.6 ปริมาณกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกในไตรกลีเซอไรด์มีประมาณร้อยละ 30 ในฟอสฟอลิพิดมีมากถึงร้อยละ 49 ในเลซิทิน(lecithin) และในเซฟาลิน (cephalin) ร้อยละ 54 ปริมาณของกรดโอเลอิกและไลโนเลอิก พบในไตรกลีเซอไรด์มากกว่าในฟอสฟอลิพิด

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบของกรดไขมันในส่วนของไข่แดง

กรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (%)			
	ไขมันหยาบ	ไตรกลีเซอไรด์	เลซิทิน	เซฟาลิน
16:0	23.5	22.5	37.0	21.6
16:1	3.8	7.3	0.6	Trace
18:0	14.0	7.5	12.4	32.5
18:1	38.4	44.7	31.4	17.3
18:2	16.4	15.4	12.0	7.0
18:3	1.4	1.3	1.0	2.0
20:4	1.3	0.5	2.7	10.2
20:6	0.8	0.6	2.1	6.4

ที่มา :Stadelman and Cotterill (1977)

สามารถแยกไข่แดงออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นเม็ด(granules) ซึ่งตกตะกอนและส่วนของเหลวที่ลอยอยู่ เรียกว่า พลาสมา(plasma) ส่วนประกอบของส่วนที่เป็นเม็ดซึ่งไม่รวมน้ำ คือ โปรตีน ร้อยละ 60 , ไขมันร้อยละ 34 และเถ้าร้อยละ 6 ซึ่งรวมถึง ไดวาเลนต์แคทไอออน เช่น Ca^{+2} ร้อยละ 0.5 ด้วย ในส่วนของพลาสมา ซึ่งเป็นส่วนประกอบใหญ่ในไข่แดงมีอยู่ประมาณร้อยละ 78 ของของเหลวในไข่แดง ปริมาณความชื้นของพลาสมาประมาณร้อยละ 49 ส่วนประกอบของพลาสมาไม่รวมน้ำ คือ ไขมันร้อยละ 77-81 โปรตีนร้อยละ 18 และเถ้าร้อยละ 2.2 (Stadelman and Cotterill ,1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 โปรตีน

โปรตีนและลิโพโปรตีนในเม็ดของไข่แดง ได้แก่ แอลฟาและบีตา-ลิโพไวเทลลิน (α and β lipovitellins) ร้อยละ 70 , ฟอสไวทิน (phosvitin) ร้อยละ 16 และลิโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein; LDL) ร้อยละ 12 โปรตีนในพลาสมาประกอบด้วย ส่วนที่เป็นโกลบูลาร์โปรตีน เรียกว่า ลิเวติน (livetin) มีอยู่ประมาณร้อยละ 11 และส่วนของลิโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) อีกประมาณร้อยละ 66 ของของแข็งในไข่แดง แสดงอยู่ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบของโปรตีนส่วนต่างๆในไข่แดง

ส่วนประกอบ	สัดส่วนของของแข็งในไข่แดง (%)	สัดส่วนของโปรตีนในไข่แดง (%)	น้ำหนักโมเลกุล		โปรตีน (%)	ไขมัน (%)
			ลิโพโปรตีน	โปรตีน		
ไข่แดง	100	100	-	-	31.1	65.8
ส่วนของเหลว	77-78		-	-	17-18	77-81
ความหนาแน่นต่ำ	66		-	-	11	89
LDL_1	16	5	$9\text{-}10.3\times10^6$	-	10.2	87-89
LDL_2	50	18	$3.3\text{-}4.8\times10^6$	1.4×10^6	12	83-86
ส่วนที่ละลายน้ำได้	10.6		-	0.55×10^6	90	0
แอลฟา-ลิเวติน	2.2	6	-	8×10^4	90	0
บีตา-ลิเวติน	5.3	15	-	4.2×10^4	90	0
แกมมา-ลิเวติน	3.1	9	-	1.5×10^5	90	0
ส่วนที่เป็นเม็ด	19-23		-	-	60	34
แอลฟา-ลิโพไวเทลลิน	6.0	15	4.0×10^5	3.1×10^5	78	18-22
บีตา-ลิโพไวเทลลิน	10.3	26	4.0×10^5	3.1×10^5	78	18-22
ฟอสไวติน	3.7	7	-	$3.6\text{-}4\times10^4$	90	0
ความหนาแน่นต่ำ	2.8	1	-	-	12	84

ที่มา: Woodward (1990)

ลิโพไวเทลลิน เป็นลิโพโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง(high-density lipoprotein) สามารถแยกออกเป็นแอลฟาและบีตา ลิโพไวเทลลินประกอบด้วย ฟอสโฟลิพิด 2 ใน 3 ส่วน ได้แก่ ฟอสฟาติดิลโคลีนร้อยละ 75 ฟอสฟาติดิลเอทาโนลามีนร้อยละ 18 และ สฟิงโกไมอีลิน(sphingomyoelin)กับไลโซฟอสโฟลิพิด (lysophospholipids) ร้อยละ 7 นอกจากฟอสโฟลิพิดยังอยู่ในรูปกรดไขมัน คอเรสเทอรอลและไตรกลีเซอไรด์ มีกรดอะมิโนซีสทีนในปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสไวติน เป็นฟอสโฟโปรตีนที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 10 และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 12-13 มีกรดอะมิโนเซอีน(serine) อยู่ร้อยละ 31 ของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดนอกจากนั้นยังมี ไทโรซีน (tyrosine) ทริปโตเฟน (tryptophan) และเมไทโอนิน (methionine) ในปริมาณเล็กน้อย แต่ไม่พบซิสทีนและซิสเทอีน

ไลเวติน ในไข่แดงอยู่ในรูปของแอลฟา บีตาและแกมมา-ลิเวติน ในสัดส่วน 2:3:5 ตามลำดับเป็นโปรตีนที่ปราศจากไขมัน มีค่า pI 4.8-5.0

ลิโพโปรตีน ความหนาแน่นต่ำ(LDL) มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.98 มีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 80-89 ซึ่งประกอบด้วย ฟอสโฟลิพิด ร้อยละ 26 LDL ถูกแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ LDL_1 และ LDL_2 น้ำหนักโมเลกุลของ LDL_1 และ LDL_2 ประมาณ 10 ล้านและ 3 ล้าน ดาลตัน ตามลำดับ LDL มีรูปทรงกลม (spheres) ที่มีแกนเป็นไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีฟอสโฟลิปิดและโปรตีนล้อมรอบอยู่

2.3.2. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในไข่แดงมีสูงถึงร้อยละ 1 อยู่ในรูปคาร์โบไฮเดรตอิสระทั้งหมดร้อยละ 0.7 เป็นกลูโคสร้อยละ 0.2 และอยู่ในรูปที่รวมกับโปรตีนร้อยละ 0.3 ได้แก่ แมนโนส-กลูโคซามีนพอลิแซ็กคาไรด์

2.3.3 แร่ธาตุ

ในไข่แดงมีแร่ธาตุประมาณร้อยละ 1.1 แร่ธาตุสำคัญของไข่แดง คือ ฟอสฟอรัส แคลเซียมและโพแทสเซียม แสดงอยู่ในตารางที่ 5 ฟอสฟอรัสบางส่วนและโพแทสเซียมอยู่ในรูปที่แตกตัวเป็นไอออน

2.4 คุณสมบัติของโปรตีน

2.4.1 คุณสมบัติในการเป็นกรดและด่าง

กรดอะมิโนซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของโปรตีนมีคุณสมบัติเป็นทั้งกรดและด่าง (amphoteric properties) ในกรณีของโปรตีนซึ่งเกิด peptide bond โดยการรวมกันของหมู่ (-COOH) และหมู่อะมิโน($-NH_2$) ของกรดอะมิโนทำให้ส่วนนั้นของเพปไทด์ไม่มีประจุ ดังนั้นประจุของโปรตีนจึงเกิดจากประจุของ side chains เช่นหมู่ -COOH ของ aspartic acid และ glutamic acid มีประจุลบ หมู่ $-NH_2$ ของ lysine และ arginine มีประจุบวก นอกจากนี้ amino groups ของ histidine , tryptophan , proline และ hydroxyproline ยังสามารถรับ H^+ ได้ โดยปกติโปรตีนส่วนใหญ่จะมีประจุลบที่ pH สูงและจะมีประจุบวกที่ pH ต่ำ ถ้าหากประจุบวกและลบในสารละลายมีปริมาณเท่ากันจะทำให้ไม่มีประจุรวม สภาพเช่นนี้เรียกว่า Zwitterion ค่าของ pH ณ จุดนี้เรียกว่า Isoelectric point (pI) ในสภาวะเช่นนี้โปรตีนมีความอยู่ตัวน้อยที่สุดคือ

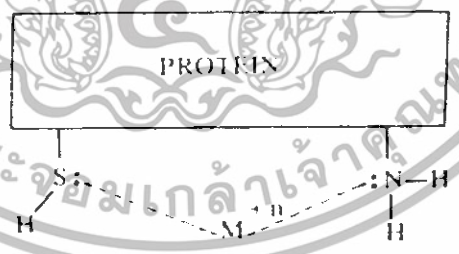
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการละลาย ความหนืด แรงดันไฟฟ้าและแรงดันออสโมซิส จะมีค่าต่ำสุด สาเหตุก็เนื่องจากเมื่อประจุเป็นศูนย์ กรดอะมิโนจะมี 2 ขั้ว ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมาก โมเลกุลมีการเกาะติดกันแน่นและยังมีพันธะ ไฮโดรเจนทำให้มีความหนาแน่นยิ่งขึ้น ดังนั้นกรดอะมิโนจึงมีโอกาสทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้น้อยลงและมีการละลายต่ำ

2.4.2 การรวมตัวกันเป็นสารประกอบกับโลหะ

โมเลกุลของโปรตีนสามารถรวมตัวกับ cation และ anions ได้จากปฏิกิริยาของ carboxyl group หรือ amino group เมื่อโมเลกุลโปรตีนมีประจุเป็นลบจะทำปฏิกิริยากับ cation พวก metalic ions จำนวนมาก สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนเป็นสารประกอบร่วม (coordination compounds or complex ions) โดยเกิดจากปฏิกิริยาของ amino N ซึ่งเป็นส่วนของ imidazole N และ หมู่ amine ใน peptide link metallic ions เหล่านี้เป็นพวก large charge/radius ratios หรือ strong electrostatic fields metal cations เหล่านี้เป็นพวก transition metal cation ได้แก่โลหะในกลุ่ม IB และ IIB เช่น Cu(II) , Ag(I) , Zn(II) แต่ Al(III) ในกลุ่ม IIIA ก็สามารถทำให้โปรตีนตกตะกอน(precipitate) ได้เนื่องจากประจุของมันเองและการเป็น small ionic radius อย่างไรก็ตาม metal cations เกือบทั้งหมดยกเว้นพวก alkali metal (กลุ่ม IA) และ alkali earth metal (กลุ่ม IIA) เท่านั้น ปฏิกิริยาการตกตะกอนโปรตีนดังกล่าวเป็นแบบไม่เฉพาะเจาะจง (nonspecific) สำหรับปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์และ metal ions ได้แก่ ปรอท(Hg) สารหนู (As) และพลวง (Sb)จะเกิดขึ้นอย่างจำเพาะ

ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง metal ion (M^{+n}) และโปรตีน ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอน



ที่มา : ฉันทนาและคณะ (2532)

2.4.3 การรวมตัวกันของโปรตีน(coagulation of protein)

โปรตีนในอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาตินั้นเรียกว่า native protein มีโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายเนื่องจากสภาวะหลายอย่าง เช่น ความร้อน การลด dielectric constant โดยการเติมแอลกอฮอล์หรือพวกสารละลายที่ไม่เป็น polar หรือการตีหรือคนแรงๆ การใช้สารเคมีต่างๆ ได้แก่ กรด ด่าง urea guanidine hydrochloride , sodium dodecyl sulfate (SDS) เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(activity) และคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีน (denatured protein) การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพการขดตัวของโมเลกุลหรือโครงรูป (conformation) และการจับเกาะกัน (aggregation) ของหน่วยย่อยโดยแรงดึงดูดที่เกิดจาก hydrogen bond , hydrophobic bond และแรงดึงดูดไฟฟ้า (electrostatic interaction) แรงดึงดูดเหล่านี้ จะไม่แข็งแรงจึงถูกกระทบกระเทือนได้ง่าย denatured protein จะยังคงมีลำดับการเรียงตัวกันของกรดอะมิโนซึ่งเกาะเกี่ยวกันด้วย covalent bond ที่เหมือนเดิมเพราะเป็นแรงที่อยู่ตัวมาก

การทำลายสภาพธรรมชาตินี้เกิดจากสายโพลีเพปไทด์ (poly peptide chain) ของโมเลกุลโปรตีนที่ขดเป็นก้อนกลม (globular protein molecules) ซึ่งปกติอยู่ในสภาพขดตัว (folded structure) มีการคลายตัว (unfolding or uncoil of unwind) ในสภาพไร้ระเบียบ (randomly looped chain) เมื่อโปรตีนเสียสภาพทางธรรมชาติไปจึงไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ คือสูญเสียปฏิกิริยาทางชีววิทยา (biological activity) เช่น ความสามารถในการช่วยเร่งปฏิกิริยา(catalytic ability) ของเอนไซม์ โดยทั่วไป globular protein เกือบทั้งหมดถูกทำลายสภาพธรรมชาติเมื่อทำให้ร้อน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 60-70 องศาเซลเซียส เช่น การต้มไข่ ไข่ขาวแข็งตัวเป็นสีขาว(white coagulum) และไม่ละลายน้ำ บางกรณีที่โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติไปแล้วอาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ (renatured) เช่น เอนไซม์บางพวกกลับทำงานได้ดังเดิมหลังจากเอาตัวทำลายสภาพนั้นออกไปซึ่งทำให้หน่วยย่อยของโปรตีนมีการจับตัวได้ดังเดิม การขดตัวของโปรตีนในสภาพธรรมชาตินั้นเป็นสภาพที่มีความอยู่ตัวมากที่สุด

ส่วนประกอบของไข่ที่เกี่ยวข้องกับการรวมตัวกัน (coagulable components) โปรตีนในไข่ขาวประกอบไปด้วย ovalbumin ร้อยละ 54 conalbumin ร้อยละ 13 ovomucoid ร้อยละ 11 lysozyme ร้อยละ 3.5 ovomucin ร้อยละ 1.5 flavoprotein- apoprotein ร้อยละ 0.8 proteinase inhibitor ร้อยละ 0.1 avidin ร้อยละ 0.05 และโปรตีนชนิดอื่นๆอีกร้อยละ 8 ovomucoid เป็นโปรตีนที่ไม่สามารถทำให้ coagulate ได้ด้วยความร้อน conalbumin เป็นโปรตีนที่ไวต่อความร้อน (heat-sensitive) มากที่สุดแต่เมื่อรวมตัวเป็นสารประกอบกับพวก metal ion เช่น เหล็ก หรือ อะลูมิเนียมก็ไม่สามารถทำให้ coagulate ได้ด้วยความร้อน ส่วนประกอบของโปรตีนต่างๆในไข่ขาวข้นและไข่ขาวเหลว (thick and thin layers of egg white) มีปริมาณไม่ต่างกันมากยกเว้น ovomucin เท่านั้นที่ต่างกันอย่างมากปริมาณของ mucin สูงมากทำให้การ coagulation เป็นไปได้ยาก สำหรับไข่แดงนั้นตรงกันข้ามกับไข่ขาวกล่าวคือ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนได้แก่ โปรตีนลิเวติน (livetins) ร้อยละ 4-10 ฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein) ร้อยละ 4-15 ไลโปโปรตีน (lipoproteins) ร้อยละ 16-18 ไขมันร้อยละ 46 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 2 เกลือแร่ ร้อยละ 2 นอกจากนั้นเป็นพวกวิตามินต่างๆ โปรตีนในไข่แดงส่วนใหญ่เกิดการ coagulation ได้ด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน(hydration)กับน้ำ

โปรตีนทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำได้เนื่องจากในโมเลกุลของโปรตีนมีไนโตรเจนและออกซิเจนอะตอมที่มี unshared pair electron เหลืออยู่ ทั้งที่หมู่อะมิโน และหมู่ –NH- ในพันธะเพปไทด์ ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับไฮโดรเจนอะตอมที่โมเลกุลของน้ำได้ ทำให้โปรตีนสามารถ อุ้มน้ำได้ดี โปรตีนจึงมี functional properties เมื่ออยู่ในอาหาร ตัวอย่างเช่น dispersibility , wettability , swelling , solubility , thickening/viscosity , water-holding capacity , gelation , coagulation , emulsification และ foaming การทำหน้าที่ในบทบาทเหล่านี้ขึ้นอยู่กับ water-protein interaction

ความสามารถในการจับกับน้ำ(water binding capacity หรือ hydration capacity) ของโปรตีน หมายถึง จำนวนกรัมของน้ำที่โปรตีนสมารถจับไว้ได้ต่อกรัมของโปรตีน ซึ่งจะแปรผันตามจำนวนหมู่โพลาร์และอะโพลาร์ โมเลกุลของน้ำจะจับกับหมู่ต่างๆ ในโมเลกุลของโปรตีนได้แตกต่างกัน ดังนั้นความสามารถในการจับกับน้ำของโปรตีน จึงขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีน

นอกจากนั้นพันธะคู่ของออกซิเจนที่หมู่ –COOH หรือ –C=O ในพันธะเพปไทด์ก็มีอิเล็กตรอนเหลืออยู่ด้วย ทำให้มีแรงดึงกับไฮโดรเจนมากกว่าไนโตรเจนอีกด้วย ยิ่ง pH ของสารละลายสูงหรือต่ำกว่าค่า pI มากเท่าใด โมเลกุลของโปรตีนจะมี affinity กับน้ำมากขึ้นทำให้เกิดไฮเดรชันมากขึ้นด้วย นอกจากนี้โมเลกุลของน้ำที่เกาะอยู่กับโปรตีนยังสามารถเกาะกับโมเลกุลของน้ำได้อีก เนื่องจากออกซิเจนอะตอมในโมเลกุลของน้ำมี unshared pair electron เหลืออยู่ทำให้มีการรวมกลุ่ม (aggregation) ของน้ำรอบๆหมู่โพลาร์บนโมเลกุลของโปรตีน ทำให้เมื่อโปรตีนกระจายตัวอยู่ในน้ำจะอยู่ในสภาพไฮเดรชัน

ในอาหารที่มีอิเล็กโทรไลต์ น้ำตาล แอลกอฮอล์ และสารอื่นๆที่มีความสามารถรวมตัวกับน้ำได้อาจจะแย่งน้ำกับโมเลกุลของโปรตีนได้ ดังนั้นการไฮเดรชันของโปรตีนจึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปรตีน pH อุณหภูมิ และสารอื่นๆที่ปนอยู่ในสารละลายโปรตีนขณะนั้นด้วย

2.5 เจล

2.5.1 โครงสร้างของเจล

โครงสร้างของเจลแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเจลส่วนมากมีโครงสร้างเป็นร่างแหของเส้นใยโมเลกุล ดังเช่น โพลีแซคคาไรด์ คอลลาเจน ไมโอซิน และแอคโตไมโอซิน(Doi,1993)

Ziegler และ Foegeding (1990) ได้แบ่งโครงสร้างพื้นฐานของเจลได้ 4 ชนิดดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างบางอย่างที่มีระเบียบที่ดีรวมถึงเจลที่เกิดจากการปรับปรุงในระดับปานกลาง
2. โครงสร้างร่างแหที่เป็นพันธะโควาเลนท์ซึ่งมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบอย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โครงสร้างร่างแหทางกายภาพ คือ มีโครงร่างไม่เป็นระเบียบอย่างเด่นชัด แต่มีรายละเอียดของส่วนต่างๆ เป็นลำดับ

4. โครงสร้างที่มีบางส่วนเป็นระเบียบ

2.5.2 การเกิดเจลของไข่

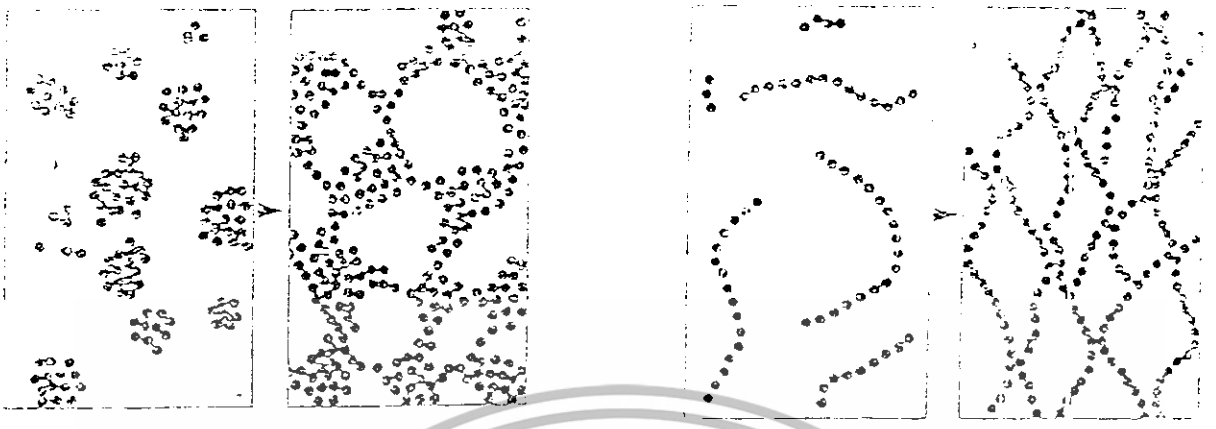
ไข่ขาวและโอวัลบูมิน เป็นโปรตีนที่เกิดเจลหลังจากให้ความร้อนโดยความร้อนจะทำให้โปรตีนเสียสภาพทางธรรมชาติ เกิดการคลายตัวของสายเพปไทด์ และสายเพปไทด์ที่คลายตัวออกจะรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายที่สามารถเก็บกักน้ำและของเหลวไว้ภายใน เกิดเป็นเจลขึ้น(Mine,1995) โปรตีนเจลเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ(tree-dimensional network) ซึ่งเกิดระหว่าง โพลีเมอร์(polymer) กับโพลีเมอร์ และปฏิกิริยาของโพลีเมอร์กับตัวทำละลาย ที่เกิดอย่างเป็นระเบียบ มีความสมดุลระหว่างแรงดูดและแรงผลักภายในโครงสร้าง

กลไกการเกิดเจลมี 2ขั้นตอนคือ ระยะแรกโมเลกุลโปรตีนคลายตัวออกโดยพันธะที่เคยมีอยู่ในธรรมชาติได้ แตกตัวออกบางส่วน ในขั้นตอนแรกจะใช้ระยะเวลาเพียงสั้นๆ การใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้โมเลกุลของโกลบูลาโปรตีน (globular protein) คลายตัวออกไม่สมบูรณ์ ยกเว้นในสภาวะที่เป็นเบสสูง หรือเมื่ออุณหภูมิสูงมากจะทำให้โมเลกุลคลายตัวได้มาก ต่อมาโมเลกุลเหล่านั้นจะเข้ามาจับตัวกันเป็นร่างแหโดยโมเลกุลที่คลายตัวออกจะจับตัวกันอย่างช้าๆ โดยพันธะไดซัลไฟด์ พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิกหรือพันธะไฮโดรโฟบิก เกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นรูปแบบการจับตัวกันของโมเลกุลโปรตีนมี 2 แบบ คือ การจับตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (random aggregation) และการจับตัวกันอย่างมีระเบียบคล้ายลูกปัด (string of beads polymers) ซึ่งจะได้เจลที่ใสมากกว่า (Doi,1993) ในขั้นตอนการจับตัวกันใหม่นี้ เป็นขั้นที่สำคัญในการเกิดเจลใส ขุ่น หรือเป็นลิ่มก็ได้ ซึ่งอัตราเร็วในการเกิดขั้นที่สองนี้มีความสำคัญมาก ถ้าเกิดอย่างช้าๆ โปรตีนจับกันเป็นร่างแหที่ดี ได้เจลที่ใสมากกว่า มีความยืดหยุ่นดีและมีการแยกของของเหลว (syneresis) เล็กน้อย แต่ถ้าในขั้นที่สองเกิดอย่างรวดเร็ว โปรตีนจับกันเกิดโครงสร้างร่างแหที่หยาบ เกิดเจลขุ่นและเกิดการแยกของของเหลว

โครงสร้างของ string of beads polymers มีลักษณะเป็นเกลียวทรงกระบอกคล้ายตัวหนอน (worm like cylinder) ของโปรตีนที่มารวมกันดังภาพที่ 2.3 ซึ่งประกอบด้วยโมโนเมอร์(monomer) มาจับกันเป็นไดเมอร์(dimer) และไดเมอร์จับกันเป็นเตตระเมอร์(tetramer) และจับกันต่อไปเป็นพอลิเมอร์(polymer) ในที่สุด ดังภาพที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

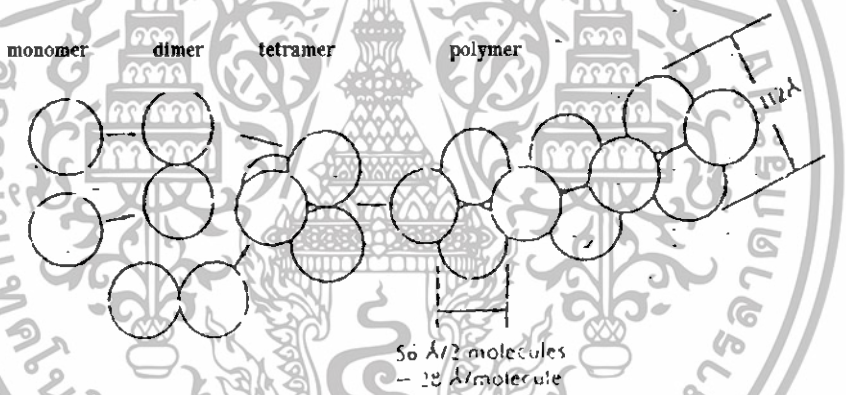
ภาพที่ 2.3 การเกิดเจลโดยการรวมตัวของโกลบูลาร์โปรตีน (globular protein)



(1) การรวมตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (random aggregation)

(2) การรวมตัวกันอย่างมีระเบียบคล้ายลูกปัด (string of beads polymers)

ที่มา:Doi (1993)



ภาพที่ 2.4 รูปทรงของไดเมอร์ในการเกิดสายโพลีเมอร์เส้นตรงของโอวัลบูมิน

ที่มา:Doi (1993)

2.6 การผลิตไข่เยี่ยวม้า

สำหรับวิธีการผลิตไข่เยี่ยวม้าได้สรุปว่ามี 3 วิธี (Yang ,1994) คือ

1. วิธีการพอก(coating method) โดยนำส่วนผสมที่เป็นเบสและส่วนประกอบอื่นกับดินเหนียว (mud) และใช้พอกที่เปลือกไข่หนาประมาณ 1 เซนติเมตร ก่อนจะบรรจุในภาชนะจนเป็นไข่เยี่ยวม้า

2. วิธีการแช่ (immersion method) โดยนำไข่ไปแช่ในสารละลายเบสและสารปรุงแต่งกลิ่นรสใช้ระยะเวลาหนึ่งก็นำมาบรรจุและเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

56687

3. วิธีร่วมกันทั้งพอกและแช่ (combination method) โดยเริ่มจากนำไข่แช่ในสารละลายเบสระยะหนึ่ง แล้วนำออกมาพอกด้วยดินเหนียวที่มีส่วนผสมของเบสอีกครั้งเก็บไข่ไว้ในที่สะอาดแห้งและเย็น ซึ่งทั้ง วิธีที่กล่าวมาสวิธีการแช่ให้ผลดีที่สุดเพราะสะดวกและรวดเร็วที่สุด

ในการทำไข่เยี่ยวม้า 100 ฟองจะยอมให้มีไข่บกพร่องได้ไม่เกิน 20 ฟอง อาจเป็นไข่ที่ดองไม่ได้ที่หรือดองนานเกินไปซึ่งสาเหตุของความเสียหายในไข่เยี่ยวม้า พอสรุปได้ดังนี้ (พยุงศักดิ์,2542)

1.ไข่เยี่ยวม้าที่ใช้เวลาดองนานเกินไป (over mature) มีสาเหตุมาจาก ไข่ที่มีเปลือกบางผิดปกติหรือสารละลายที่ใช้มีความเป็นเบสสูงเกินไป จะเกิดลักษณะไข่ขาวทั้งด้านแหลมและด้านป้านเกิดเจลที่แตกง่ายหรือเป็นของเหลว มีสีเข้มขึ้น มีกลิ่นแอมโมเนียและเครื่องเทศแรงจัดมีรสเค็มและขม

2. ไข่เยี่ยวม้าที่ยังไม่ได้ที่ (immature) เกิดจากไข่ที่มีเปลือกหนาเกินไปทำให้การซึมผ่านของเบสเกิดได้ช้าหรือเกิดจากระยะเวลาในการดองไม่นานพอทำให้ได้ไข่ที่มีลักษณะของไข่ขาวนิ่มและมีความหนืดสูง มีสีอ่อน และไข่แดงยังเหลวมีสีส้มอมเหลืองหรืออาจมีสาเหตุมาจากการตกตะกอนของสารเคมีที่ใช้แช่ไข่ทำให้ไข่ที่อยู่ส่วนบนและส่วนล่างของภาชนะได้รับสารไม่เท่ากัน

3. ไข่ไม่แข็ง (liquefaction) เกิดจากการใช้ไข่ที่เก่าเกินไปหรือสารละลายในความเป็นเบสสูงมากเกินไปหรืออุณหภูมิในการดองไข่สูงเกินไปทำให้ไข่ขาวเป็นของเหลวหรือเรียกว่า " watery alkalized duck egg "

2.7 ลักษณะโดยทั่วไปของไข่เยี่ยวม้า

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ไข่เยี่ยวม้าจาก มอก.1205 (2536) ได้กำหนดลักษณะภายในและกลิ่น รส ของไข่เยี่ยวม้าไว้ดังนี้ ไข่ขาวต้องเป็นวุ้นใส สีน้ำตาลไหม้หรือสีชาเข้มอ่อนนุ่มและหยุ่นตัวดี มีความคงตัวดี เมื่อผ่าไข่เยี่ยวม้าออกเป็น 2 ซีกตามยาว ขนาดของช่องอากาศภายในวัดตามแนวยาวของไข่เยี่ยวม้าต้องไม่เกิน 1 ใน 4 ส่วนของความยาว ส่วนของไข่ขาวกับไข่แดงต้องแยกกันเห็นได้ชัดเจนและแยกออกจากกันได้ง่าย ผิวนอกทั้งหมดของไข่แดงต้องมีสีสม่ำเสมออาจเป็นสีเขียวอมน้ำตาลหรือสีเทาก็ได้ ส่วนกลางเป็นยางมะตูมหรือแข็งกว่ามีสีเทาหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ในด้านกลิ่นรส มีกลิ่นตามธรรมชาติของไข่เยี่ยวม้า ควรมีกลิ่นแอมโมเนีย ไข่ขาวมีรสเค็มเล็กน้อย ไข่แดงมีรสมันและรสเค็มเล็กน้อย

สารปนเปื้อนในไข่เยี่ยวม้าให้พบตะกั่วและสังกะสีไม่เกิน 1 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของไข่เยี่ยวม้าในส่วนที่บริโภคได้ตามลำดับและปริมาณจุลินทรีย์ต้องไม่พบเชื้อ *Salmonella* ในไข่เยี่ยวม้า 25 กรัม *Clostridium perfringens* ในตัวอย่าง 0.1 กรัม และ *Staphylococcus aureus* ในตัวอย่าง 0.1 กรัม

2.8 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในไข่เยี่ยวม้า

การทำไข่เยี่ยวม้าไม่ได้เป็นการรักษาสภาพเดิมของไข่ไว้ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางจุลินทรีย์เกิดขึ้น กลไก (mechanism) ของปฏิกิริยาทางเคมีของการเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโน (amino acid) ในไข่ขาวและไข่แดงดังนี้ต่อไปนี้ (รุจี,2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Cysteine (amino acid) → Amino unsaturated propionic acid + Hydrogen sulfide

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

Pyruvic acid + Ammonia

โปรตีนหรือกรดอะมิโนในไข่ซึ่งมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบและเอนไซม์ชนิดต่างๆที่มีอยู่เช่น desulfhydrase , deaminase , trypsin , pepsin , lipase และ amylase เป็นต้น เป็นปัจจัยเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำให้ไข่มีสภาพเป็นด่างที่มีค่าระหว่าง pH 11.3 และ 11.7 ซึ่ง pH ในช่วงนี้ เอนไซม์ในไข่ เช่น desulfhydrase และ deaminase จะแปรสภาพกรดอะมิโนในไข่ให้เกิดการแข็งตัวขึ้น(denature) เปลี่ยนกำมะถันในโปรตีนให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) และแปรหมู่อะมิโน (amino group, - NH_2) ของโปรตีนให้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) ไข่เยี่ยวม้าจึงมีคุณลักษณะเฉพาะตัวที่สังเกตได้อย่างชัดเจนคือเนื้อไข่จะแข็งตัวไม่เป็นน้ำอีกต่อไป มีกลิ่นเฉพาะตัวที่เกิดจากก๊าซแอมโมเนียและเนื้อไข่มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลคล้ำที่เกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์

สารเคมีต่างๆที่ใช้ในการดองไข่เยี่ยวม้าจะทำปฏิกิยากับไข่ในช่วงดองดังนี้ (ราณี,2533)

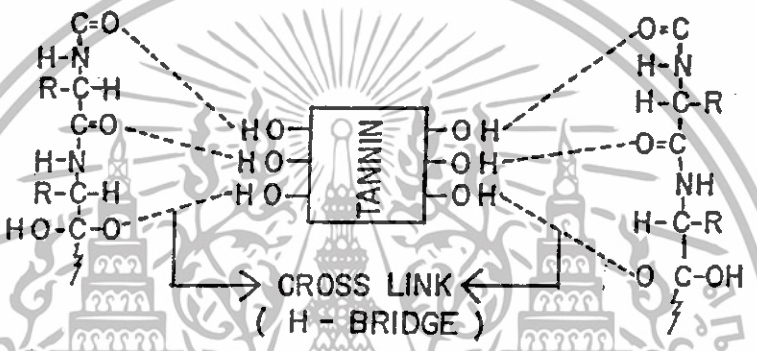
2.8.1 เกลือ

เกลือมีความสำคัญในการเปลี่ยนไข่สดเป็นไข่เยี่ยวม้า เนื่องจากเกลือจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ป้องกันการเน่าเสียของไข่ ปริมาณเกลือที่มีอยู่ในไข่ซึ่งป้องกันการเน่าเสียของไข่ได้ควรมีปริมาณดังนี้ ในไข่เค็มไข่ขาวจะมีเกลือร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก ไข่แดงมีร้อยละ 3.6 โดยน้ำหนัก แต่ในไข่เยี่ยวม้าเปอร์เซ็นต์ของเกลือมีน้อยกว่าได้คือ ไข่ขาวควรมีเกลือร้อยละ 1.0-2.0 โดยน้ำหนัก ในไข่แดงร้อยละ 0.40-0.70 โดยน้ำหนัก เนื่องด้วยในไข่เยี่ยวม้ามีสารเคมีหลายชนิด ช่วยทำลายจุลินทรีย์ได้ เช่น โซเดียมคาร์บอเนต และ pH ของสารละลายที่ใช้แช่ไข่ก็สูงคือ pH ประมาณ 13 ปริมาณเกลือไม่จำเป็นมากเท่าในไข่เค็ม บทบาทของเกลือต่อโปรตีนในไข่คือ เกลือเป็น อิเล็กโตรไลท์(electrolyte) ชนิดหนึ่ง ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับโปรตีนแล้วจะลดแรงผลัก (repulsion) ระหว่างประจุของโปรตีนทำให้ประจุของโปรตีนอยู่ใกล้กันมากขึ้นและช่วยดึงดูดประจุบวกของโปรตีนกลุ่มหนึ่งและประจุลบของโปรตีนอีกกลุ่มหนึ่งให้อยู่ใกล้กันมากขึ้น ทำให้เกิดการ form gel นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนที่เรียกว่า "salting out" ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเติมเกลือลงในสารละลายโปรตีนมากพอ เกลือจะไปแย่งน้ำจากโมเลกุลของโปรตีนทำให้เกิดเจล นอกจากนี้เกลือยังช่วยเพิ่มรสชาติของอาหารหลายชนิด รวมทั้งไข่เยี่ยวม้าด้วยทำให้อาหารเหล่านั้นมีรสชาติดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 ใบชา

ใบชาประกอบด้วยสารเคมีต่างๆถึง 320 ชนิด สาระสำคัญในใบชา คือ แทนนินและคาเฟอีน รวมทั้งเกลือแร่หลายชนิด เช่น ทองแดง สังกะสี แมงกานีส สารที่มีมากที่สุดในใบชาคือ แทนนิน ซึ่งมีตั้งแต่ร้อยละ 7.3-15.1 แทนนินเป็นพวก polyphenolic compound มี 2 ชนิดคือ hydrolysable tannins และ condensed tannin เมื่อนำมาผ่านความร้อนจะได้ polyhydric alcohol แทนนิน จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนในไข่ทำให้โปรตีนตกตะกอนช่วยให้การเกิดเจลของไข่เร็วขึ้น โดยที่ไฮโดรเจนจากกลุ่มไฮดรอกซิลในแทนนินและออกซิเจนของ keto-imide bond (-CONH) ในโปรตีนจะมีพันธะกันทำให้เกิดการตกตะกอนโปรตีน แทนนินที่ตกตะกอนโปรตีนได้ต้องมีมวลโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1000-3000 จึงจะทำให้เกิดการยึดกันอย่างแข็งแรงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การสร้างพันธะยึดกันของโปรตีนกับแทนนิน
ที่มา : ศรีอนงค์ (2522)

2.8.3 โซเดียมคาร์บอเนต ($NaCO_3$)

เป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้ดีมี pH 12.6 ทำให้โปรตีนอยู่ในสภาพที่มีประจุลบ เมื่อเติมสารที่มีประจุบวกลงไปจะทำให้โปรตีนตกตะกอน เป็นสารที่ทำให้ pH ของสารละลายเหมาะแก่การแช่ไข่เยี่ยวม้า คือ pH ของสารละลายที่ใช้แช่ไข่ควรมี pH สูงประมาณ 13

2.9 คุณค่าทางอาหารของไข่เยี่ยวม้า

ไข่เยี่ยวม้ามีประโยชน์เป็นแหล่งของโปรตีน ไขมัน และวิตามินบางชนิดแต่ปริมาณอาจเปลี่ยนแปลงไปจากไข่สดบ้างเนื่องจากผ่านกระบวนการผลิตที่มีเบสเป็นองค์ประกอบคุณค่าทางอาหารของไข่เยี่ยวม้าเปรียบเทียบกับไข่เป็ดสดแสดงในตารางที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารอาหารในไข่เยี่ยวม้าและไข่เป็ดสดแตกต่างกันไม่มากนัก แต่อย่างไรก็ตามการแช่ไข่ในสารละลายที่มีเบสและเกลือทำให้ไข่เยี่ยวม้ามีปริมาณโซเดียม เหล็ก แคลเซียมและเถ้าสูง ปริมาณโซเดียมที่มีสูงเกินไปเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง (hypertension) การลดปริมาณโซเดียมโดยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ร่วมกับการใช้โซเดียมคลอไรด์อย่างละครึ่งแทนที่จะใช้โซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว พบว่าได้ไข่เยี่ยวม้าใกล้เคียงกับท้องตลาด (Yang,1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 คุณค่าอาหารของไข่เป็ดสดและไข่เยี่ยวม้าจากไข่เป็ด (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้)

ส่วนประกอบ	ไข่เป็ด	ไข่เยี่ยวม้าจากไข่เป็ด
พลังงาน (kcal)	192.0	179.0
ความชื้น (g)	70.2	67.2
โปรตีน (g)	13.0	14.5
ไขมัน (g)	14.8	12.0
คาร์โบไฮเดรต (g)	0.5	2.0
เถ้า (g)	1.5	4.1
แคลเซียม (mg)	65.0	84.0
ฟอสฟอรัส (mg)	232.0	198.0
เหล็ก (mg)	2.6	3.1
โซเดียม (mg)	120.0	850.0
โพแทสเซียม (mg)	130.0	65.0
วิตามิน เอ (IU)	740.0	750.0
วิตามิน บี 1 (mg)	0.17	0.14
วิตามิน บี 2 (mg)	0.36	0.09
ไนอาซีน (mg)	0.10	0.10
วิตามิน ซี (mg)	0	0

ที่มา : Yang (1994)

2.10 การปนเปื้อนของสารตะกั่วในไข่เยี่ยวม้า

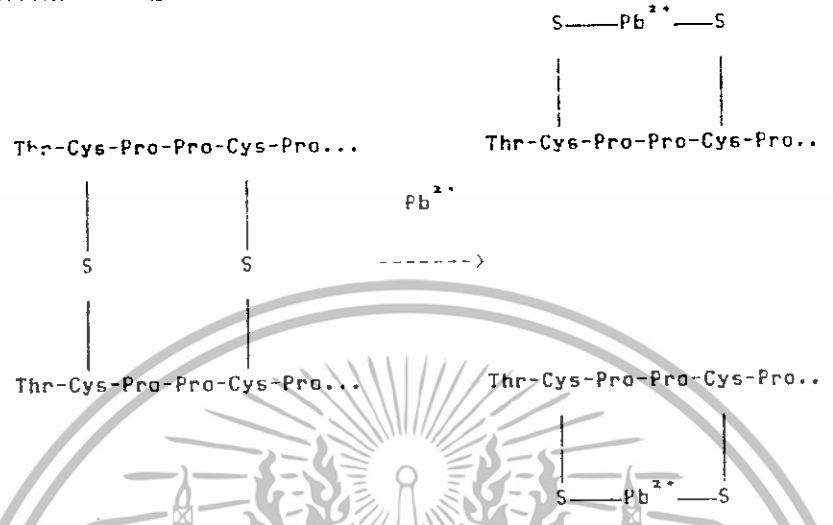
การทำไข่เยี่ยวม้าบางสูตรมีการเติมตะกั่วออกไซด์ (PbO) ในกระบวนการผลิตด้วยโดยเฉพาะสูตรที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อที่จะทำให้ไข่ที่แช่ในสารละลายเบสนั้นควบคุมง่ายขึ้น โดยผู้ผลิตไม่ได้คำนึงถึงว่าสารตะกั่วจะทำให้เป็นพิษและเกิดอันตรายกับผู้บริโภคได้ ในอดีตสารละลายเบสที่ทำจากโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถผลิตไข่เยี่ยวม้าได้ภายในระยะเวลา 7-12 วันเท่านั้น แต่มีข้อเสียคือ การแข็งตัวของไข่ไม่สม่ำเสมอ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ได้มีผู้นำเอาสารที่เรียกว่า "litharge" หรือตะกั่วออกไซด์มาเป็นส่วนประกอบในการผลิตไข่เยี่ยวม้า ตะกั่วออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยาที่เรียกว่า "buffer action" ระหว่างกรดอะมิโนกับสารละลายเบส จะสามารถคงค่า pH ในสารละลายเบสให้คงที่ ทำให้การผลิตควบคุมได้ง่ายและทำให้เจลไข่ขาวไม่คืนตัวเหลวเป็นน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) ซึ่งให้ลักษณะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จุดสีดำบริเวณเปลือกไข่และส่วนของไข่ขาวจะมีสีดำมาก มีลักษณะขุ่นไม่ใสในขณะที่ไข่เยี่ยวม้าที่ไม่มีตะกั่วไข่ขาวจะมีสีน้ำตาลคล้ำและมีลักษณะใส (รุจี,2530)

ตำแหน่งที่ตะกั่ว (Pb) มักทำปฏิกิริยากับโปรตีนแล้วเกิดการตกตะกอนคือ cystein sulfhydryl groups (SH groups) ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาระหว่าง lead ion (Pb^{2+}) และโปรตีน

ที่มา : ศุภชัย (2539)

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีอันตรายต่อสุขภาพมากเมื่อได้รับเข้าไปจะเกิดสะสมอยู่ในกระดูกและเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายถึงขั้นแสดงความเป็นพิษคือ อาเจียน อ่อนเพลีย น้ำหนักลด ปวดศีรษะ ปวดตามแขนและขา ไม่มีแรงและปวดท้อง ถ้าร่างกายได้รับปริมาณสูงมาก จะเกิดอาการพิษขึ้นรุนแรงคือเนื้อเยื่อสมองถูกทำลาย ปวดศีรษะอย่างรุนแรง มีอาการชักสลบและหมดความรู้สึกไปในที่สุด ระดับความรุนแรงของการเกิดพิษแบ่งได้เป็น 4 ระยะคือ

ระยะที่ 1 ไม่แสดงอาการพิษให้เห็นชัด ระดับตะกั่วในเลือดต่ำกว่า 40-60 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เริ่มมีผลยับยั้ง ALA dehydratase เท่านั้น

ระยะที่ 2 ระดับตะกั่วในเลือดมากกว่า 60-80 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ผู้ป่วยเริ่มอ่อนเพลีย หมดแรง เริ่มมีอาการโลหิตจาง

ระยะที่ 3 ระดับตะกั่วในเลือดมากกว่า 100-150 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ระยะนี้ผู้ป่วยมีอาการพิษเกิดขึ้นต่อระบบต่างๆ มีอาการทางประสาทส่วนปลายมือ เท้าห้อย โลหิตจางอย่างแรง ไตพิการ ปวดเกร็งในท้องอย่างรุนแรงเริ่มมีอาการทางสมอง เพ้อ

ระยะที่ 4 เป็นระยะลุกลาม ระดับตะกั่วในเลือดสูงกว่า 150 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ผู้ป่วยมีอาการทางสมองลุกลามมาก เพ้อคลั่ง ประสาทหลอน อาจชัก และตายได้

FAO/WHO Expert Committee on food additives (JECFA) ได้กำหนดเกณฑ์ความปลอดภัยสูงสุดของตะกั่วที่ร่างกายรับเข้าไปต่อ 1 สัปดาห์ ในผู้ใหญ่คือ 50 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม หรือ 3 มิลลิกรัมต่อคน สำหรับคนน้ำหนัก 60 กิโลกรัม (ฉันทนาและคณะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 โรคพิษจากพิษสังกะสี (http://dpc9.ddc.moph.go.th/group/noc/EnvOcc(dpc9)

ทางเข้าสู่ร่างกาย สังกะสีสามารถเข้าสู่ร่างกายโดย

1. ทางเดินหายใจ สังกะสีที่เข้าสู่ทางเดินหายใจมักอยู่ในรูปฟูมสังกะสีออกไซด์ ซึ่งเกิดขึ้นจากงานเชื่อมบัดกรีโลหะ ตัดโลหะที่เคลือบด้วยสังกะสี งานหลอมและหล่อทองแดง เป็นต้น และฟูมของสังกะสีคลอไรด์

2. การสัมผัสทางผิวหนัง

3. ทางเดินอาหาร

อาการและอาการแสดง

โรคจากการแพ้พิษสังกะสี ที่พบบ่อยๆ มี 3 ประเภท ได้แก่ การแพ้พิษสังกะสีออกไซด์ การแพ้พิษสังกะสีคลอไรด์และการแพ้พิษสังกะสีโครเมต

2.11.1. การแพ้พิษสังกะสีออกไซด์

อาการเฉพาะที่ เมื่อผิวหนังสัมผัสกับสังกะสีออกไซด์ จะทำให้รูขุมขนต่อมไขมันถูกอุดตัน ทำให้กลายเป็นตุ่มใสๆ ขึ้นมา มีอาการคันมาก เมื่อเกาจะอักเสบ และกลายเป็นตุ่มหนองได้

อาการทั่วไป การสูดหายใจเอาฟูมของสังกะสีเข้าไป ทำให้เกิดอาการแบบไข้หวัดใหญ่เริ่มด้วยอาการคลื่นไส้ ปวดศีรษะ ไอ เหนื่อย เหงื่อออก รู้สึกรสของโลหะ ซึ่งมักเกิดขึ้น 4-12 ชั่วโมง หลังการสัมผัสตามมาด้วยการมีไข้สูง เหงื่อออกและหนาวสั่น อาการดังกล่าวจะหายปกติภายใน 1-2 วัน เมื่อเริ่มกลับเข้ามาทำงานก็จะเป็นอีก แต่อาการจะไม่รุนแรงเท่ากับครั้งแรกที่สัมผัส ผู้ปฏิบัติงานจะมีความต้านทานต่อโรคนี้เป็นช่วงระยะสั้นๆ ผู้ปฏิบัติงานที่หยุดงานไป 1-2 วันในวันสุดสัปดาห์ แล้วกลับมาทำงานใหม่ในวันจันทร์ ก็จะเกิดอาการอีกแต่ความรุนแรงจะลดลงเรื่อยๆ จึงเรียกชื่อโรคนี้ว่า "โรคไข้วันจันทร์" (Monday fever) หรือ "โรคไข้พิษโลหะ" (metal fume fever)

2.11.2. การแพ้พิษสังกะสีคลอไรด์

อาการเฉพาะที่ สังกะสีคลอไรด์มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรง การสัมผัสผิวหนัง ทำให้ผิวหนังเกิดบาดแผลได้ การสัมผัสสังกะสีคลอไรด์บริเวณตา เยื่อบุผิวขุมจมูก คอ หลอดลม ปอด ทำให้เกิดอาการกัดกร่อน และระคายเคืองในความรุนแรงต่างกัน ในรายที่เป็นรุนแรงทำให้ปอดบวมมีน้ำคั่งในปอดถึงแก่ความตายได้ การกินเข้าไปจะกัดกร่อนบริเวณทางเดินอาหารส่วนต้น ได้แก่ หลอดอาหาร และกระเพาะอาหาร ทำให้มีอาการอักเสบและปวดอย่างรุนแรง เมื่อหายแล้วทำให้ทางเดินอาหารตีบตันได้

อาการทั่วไป มีอาการคล้ายเป็นหวัด ไข้สูง ปวดเมื่อยตามกล้ามเนื้อ อาการดังกล่าวมักหายไปได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหยุดการสัมผัสสังกะสี

2.11.3. การแพ้พิษสังกะสีโครเมต เชื่อว่าสังกะสีโครเมตเป็นสารก่อมะเร็งในคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. ขวดโหลพลาสติก
2. pH meter
3. Petidish
4. Hot plate

3.2 วัตถุดิบ

1. ไข่เป็ดใหม่และสดไม่เกิน 3 วัน
2. ใบชา (เบอร์ 1 ตราสามม้า)
3. เกลือ (ตราปรุงทิพย์)

3.3 สารเคมี

1. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
2. แคลเซียมออกไซด์ (CaO)
3. ตะกั่วออกไซด์ (PbO)
4. สังกะสีออกไซด์ (ZnO)
5. ทองแดงออกไซด์ (CuO)
6. ไอร์ออน(III)ออร์โทฟอสเฟต ($FePO_4$)
7. กรดแอซีติก (CH_3COOH)
8. น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอน และวิธีการทดลอง

การเตรียมสารละลายที่ใช้แช่ไข่

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 30 กรัม, แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 75 กรัม, เกลือ 50 กรัม และใบชา 8 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร

↓

เติมน้ำ 500 มิลลิลิตร

↓

ต้มส่วนผสมทั้งหมดจนเดือด คนให้ทั่ว

↓

ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ที่มา : ฉันทนา และคณะ (2532)

3.5 ศึกษาเบื้องต้นของระดับ pH ของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล

3.5.1 การศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

นำสารละลายที่ใช้ในการแช่ไข่มาปรับ pH ให้ได้ระดับที่ต้องการโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และ/หรือ กรดแอซีติก (CH_3COOH) ปรับให้ได้ pH 4 ระดับ คือ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จึงนำมาตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวโดยการใช้สายตาร่วมกับการชั่งน้ำหนักเจล ตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาวโดยใช้ pH meter ลักษณะทางกายภาพของสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง และพิจารณาแนวโน้มของการเกิดเจลว่าที่ระดับ pH ใดเหมาะสมต่อการเกิดเจลมากที่สุด แล้วจึงเลือก pH นั้นมาทำการศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.5.1 แต่ปรับ pH ให้ได้ 4 ระดับ คือ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จึงนำมาตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวโดยการใช้สายตาร่วมกับการชั่งน้ำหนักเจล ตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาวโดยใช้ pH meter ลักษณะทางกายภาพของสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง และพิจารณาแนวโน้มของการเกิดเจลว่าที่ระดับ pH ใดเหมาะสมต่อการเกิดเจลมากที่สุด แล้วจึงเลือก pH นั้นมาทำการศึกษาต่อไป

3.5.3 การศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.5.1 แต่ปรับ pH ให้ได้ 3 ระดับ คือ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จึงนำมาตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวโดยการใช้สายตาร่วมกับการชั่งน้ำหนักเจล ตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาวโดยใช้ pH meter ลักษณะทางกายภาพของสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง และพิจารณาแนวโน้มของการเกิดเจลว่าที่ระดับ pH ใดเหมาะสมต่อการเกิดเจลมากที่สุด แล้วจึงเลือก pH นั้นมาทำการศึกษาต่อไป

3.5.4 การศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.5.1 แต่ปรับ pH ให้ได้ 2 ระดับ คือ pH 13.00 และ 13.25 เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ จึงนำมาตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวโดยการใช้สายตาร่วมกับการชั่งน้ำหนักเจล ตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาวโดยใช้ pH meter ลักษณะทางกายภาพของสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง และพิจารณาแนวโน้มของการเกิดเจลว่าที่ระดับ pH ใดเหมาะสมต่อการเกิดเจลมากที่สุด แล้วจึงเลือก pH นั้นมาทำการศึกษาต่อไป

3.6 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล

ทำการศึกษาผลของสารประกอบโลหะต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า โดยเติมสารประกอบโลหะลงในสารละลายที่ใช้ในการแช่ที่คัดเลือกมาจากข้อ 3.5 แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุด ชุดแรกไม่เติมสารประกอบโลหะ ชุดที่ 2 เติมตะกั่วออกไซด์ (PbO) 500 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดที่ 3 เติมสังกะสีออกไซด์ (ZnO) 300, 500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดที่ 4 เติมทองแดงออกไซด์ (CuO) 300, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดที่ 5 เติมไอร์ออน(III)ออร์โทฟอสเฟต ($FePO_4$) 300, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร แช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ จึงนำมาตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวโดยการใช้สายตาร่วมกับการชั่งน้ำหนักเจล ลักษณะทางกายภาพของสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะที่เติมลงในสารละลายที่ใช้ในการแช่ไข่

สารประกอบโลหะ	Control	PbO	ZnO	CuO	$FePO_4$
	-	500	300	300	300
ความเข้มข้น(mg/L)			500	500	500
			1000	1000	1000

3.7 การตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาว

ทำการตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่แดงโดยการประมาณด้วยสายตา คะแนนที่ได้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดง มีเกณฑ์ในการให้คะแนน ดังนี้ เกิดเจลทั้งหมดให้ 100 เปอร์เซ็นต์ เกิดเจลมากให้ 90 เปอร์เซ็นต์ เกิดเจลค่อนข้างมากให้ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น โดยเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลจะลดหลั่นลงมาตามปริมาณการเกิดเจล และไม่เกิดเจลเลยให้ 0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลของไข่ขาวใช้การตรวจสอบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักเจลโดยปอกเปลือกไข่ออก ชั่งน้ำหนักของ Petidish แล้ววางไข่ลงใน Petidish ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักไข่ทั้งหมดรวม Petidish แล้วเอาส่วนของไข่แดงออก บันทึกน้ำหนัก จะเหลือส่วนที่เป็นไข่ขาว บันทึกน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณร้อยละของไข่ขาว

3.8 การตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาว

ชั่งไข่แดง 5 กรัม นำมาบดให้ละเอียดใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน อ่านค่าจาก pH meter (ฉันทนา และคณะ, 2532) (การตรวจสอบ pH ของไข่ขาวทำการทดลองเช่นเดียวกับไข่แดง)

3.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล และ pH ของไข่ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) โดยใช้ ANOVA (F-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Ducan's New Multiple Range Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์การทดลอง

4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายในระดับต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า

4.1.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้า เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

การตรวจสอบปริมาณการเกิดเจลจะใช้การทดสอบลักษณะทางกายภาพด้วยสายตาร่วมกับการตรวจโดยวิธีการชั่งน้ำหนักเจลและบันทึกค่าน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณร้อยละของไข่ขาวและไข่แดง ค่าที่ได้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ pH 11.50, 12.00,12.50 และ 13.00 ในระยะเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า pH ของสารละลายมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่ทั้งในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยระดับ pH ของสารละลายที่ 11.50, 12.00 และ12.50 จะให้ผลที่ต่างจาก pH ของสารละลายที่ 13.00 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาว มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ pH

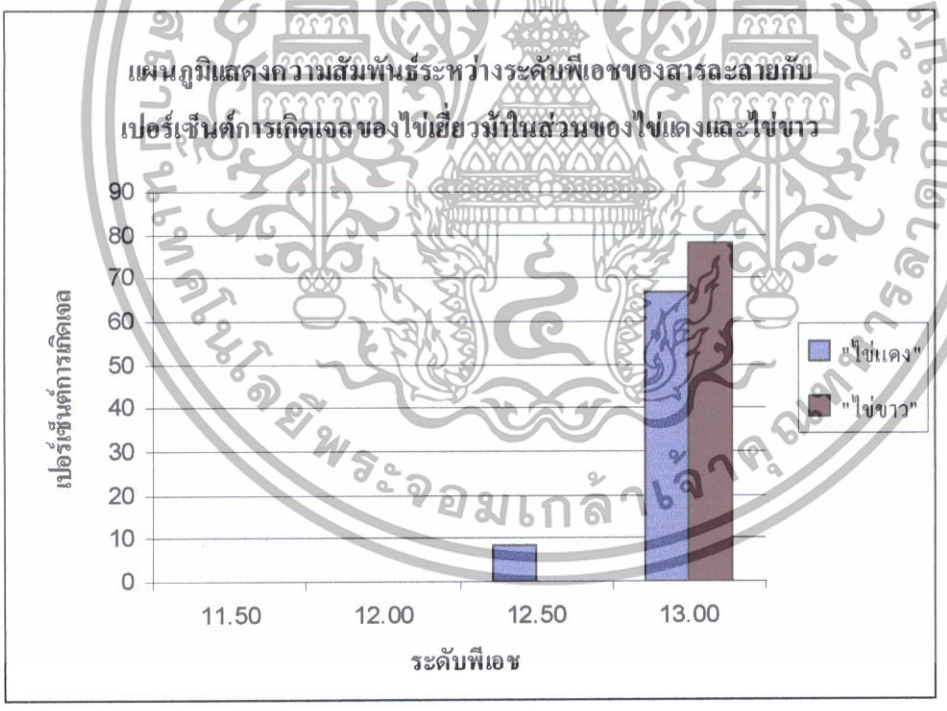
จากการตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาวพบว่า pH ของสารละลายมีผลต่อ pH ของไข่แดงและไข่ขาว โดยระดับ pH ของสารละลายที่ 11.50, 12.00 และ12.50 จะให้ผลที่ต่างจาก pH ของสารละลายที่ 13.00 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตารางที่ 4.1 pH ของไข่แดงและไข่ขาว มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.5 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่สารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

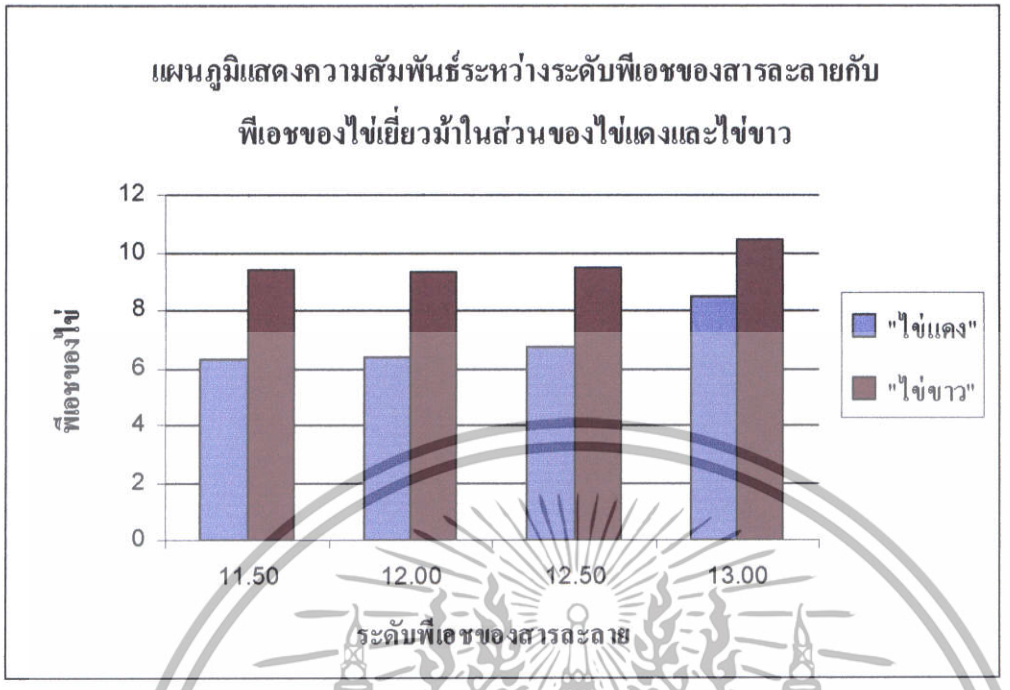
พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล		พีเอช	
	ไข่แดง	ไข่ขาว	ไข่แดง	ไข่ขาว
11.50	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	6.33 ± 0.16^{a}	9.40 ± 0.04^{a}
12.00	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	6.37 ± 0.09^{a}	9.35 ± 0.15^{a}
12.50	8.33 ± 2.89^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	6.77 ± 0.07^{a}	9.48 ± 0.04^{a}
13.00	66.67 ± 28.87^{b}	77.98 ± 19.12^{b}	8.47 ± 0.94^{b}	10.45 ± 0.12^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)



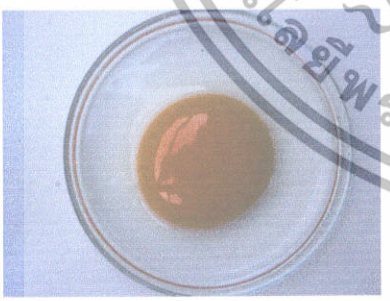
ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 กับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



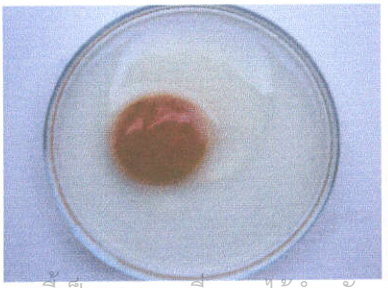
ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 กับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว

ภาพที่ 4.3 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ pH 11.50 , 12.00 ,12.50 และ 13.00 เป็นเวลา 1 สัปดาห์



pH 11.50

pH 12.00



pH 12.50

pH 13.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางกายภาพที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 11.50 , 12.00 ,12.50 และ 13.00 เป็นเวลา 1 สัปดาห์

พีเอช สารละลาย	ลักษณะของไข่แดง	ลักษณะของไข่ขาว	กลิ่น
11.50	มีสีและลักษณะคล้ายไข่สด	มีสีและลักษณะคล้ายไข่สด	กลิ่นคาวคล้ายไข่สด
12.00	มีสีและลักษณะคล้ายไข่สด	มีสีและลักษณะคล้ายไข่สด	กลิ่นคาวคล้ายไข่สด
12.50	คงตัวกว่าไข่สด ภายนอกสีแดงเข้มกว่าไข่สด ภายในมีลักษณะข้น	มีสีและลักษณะคล้ายไข่สด	กลิ่นคาวคล้ายไข่สด
13.00	ด้านนอกมีสีเทาอมเขียวหนาประมาณ 2 mm. ภายในตรงส่วนติดด้านนอกมีสีแดงเข้มหนืด หนาประมาณ 3-4 mm. ตรงกลางมีสีส้ม เหลว	เป็นเจลใสสีชาไม่ทั่วทั้งฟอง บางส่วนเป็นเมือกเหลวกว่าไข่สด มีสีเหลืองเข้ม	มีกลิ่นของแอมโมเนียเล็กน้อยแต่ยังมีกลิ่นคาวของไข่สดอยู่

ลักษณะทางกายภาพโดยรวมของไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 11.50 และ 12.00 เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ยังคงมีลักษณะคล้ายกับไข่สด ไม่มีแนวโน้มที่จะเกิดไข่เยี่ยวม้า ส่วนไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 12.50 มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของไข่แดง และที่ระดับ pH 13.00 มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพโดยรวมจากไข่สดไปในทางที่คาดว่าจะเกิดเป็นไข่เยี่ยวม้า ดังนั้นจึงทำการศึกษาที่สารละลาย pH 12.50 และ 13.00 ในครั้งต่อไปและตัดการศึกษาที่สารละลาย pH 11.50 และ 12.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้า เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ศึกษาระดับ pH เพิ่มขึ้นอีก 2 ระดับ คือ pH 13.50 และ 13.75 และเพิ่มระยะเวลาในการแช่ไข่เป็น 2 สัปดาห์ เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ pH 12.50, 13.00,13.50 และ 13.75 ในระยะเวลา 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับ pH ของสารละลายต่างๆ คือ ระดับ pH ของสารละลายมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า จากตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาว มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงเมื่อเพิ่มระดับ pH ให้สูงมากกว่า 13.00

จากการตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาว พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับ pH ของสารละลายต่างๆ คือ ระดับ pH ของสารละลายมีผลต่อ pH ของไข่ จากตารางที่ 4.3 อธิบายได้ว่า เมื่อระดับ pH ของสารละลายเปลี่ยนไปก็จะทำให้ pH ของไข่แตกต่างกันออกไปด้วย โดย pH ของไข่แดงและไข่ขาวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ pH

และจากการทดลองได้ทำการศึกษา pH ของสารละลายเพิ่มขึ้นอีก 2 ระดับ เพื่อให้มั่นใจว่าถ้าปรับ pH ของสารละลายให้ด่างขึ้นจะไม่เกิดเจลที่ดี โดยทำการศึกษาที่ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 ในระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับ pH ของสารละลายต่างๆ คือ ระดับ pH ของสารละลายมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า จากตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ pH โดยที่ pH ของสารละลาย 13.25 จะให้ผลของเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลที่ต่างกันมากกว่าการให้ pH ของสารละลายในระดับ 12.75 และ 13.00

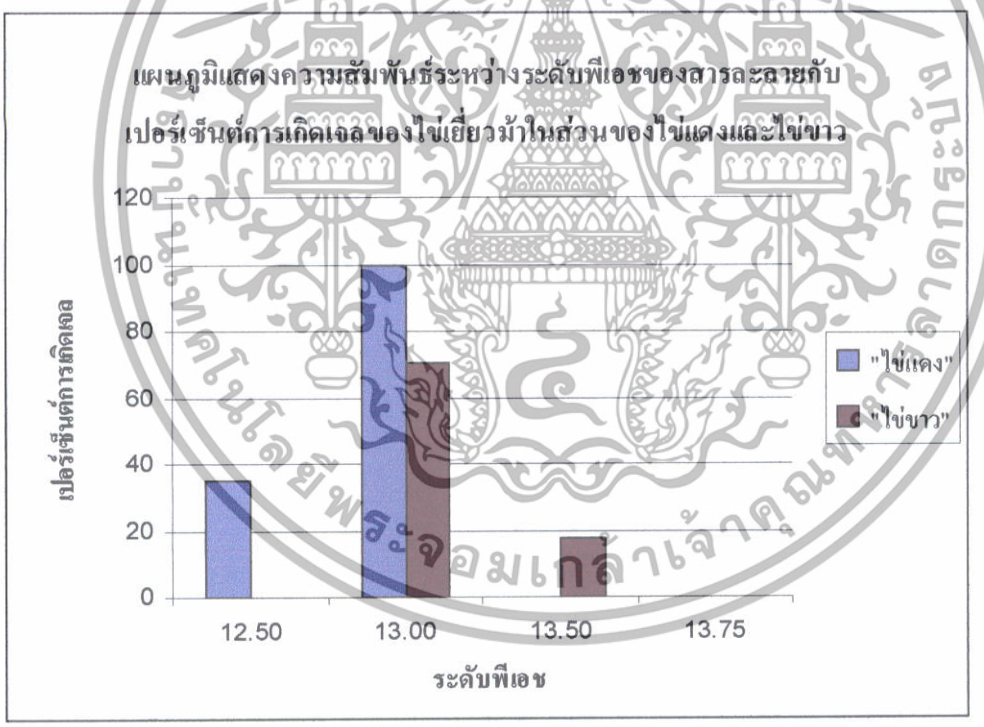
จากการตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาว พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับ pH ของสารละลายต่างๆ คือ ระดับ pH ของสารละลายมีผลต่อ pH ของ ไข่ จากตารางที่ 4.5 อธิบายได้ว่า เมื่อระดับ pH ของสารละลายเปลี่ยนไปก็จะทำให้ pH ของไข่แตกต่างกันออกไปด้วย โดย pH ของไข่แดงและไข่ขาวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่สารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

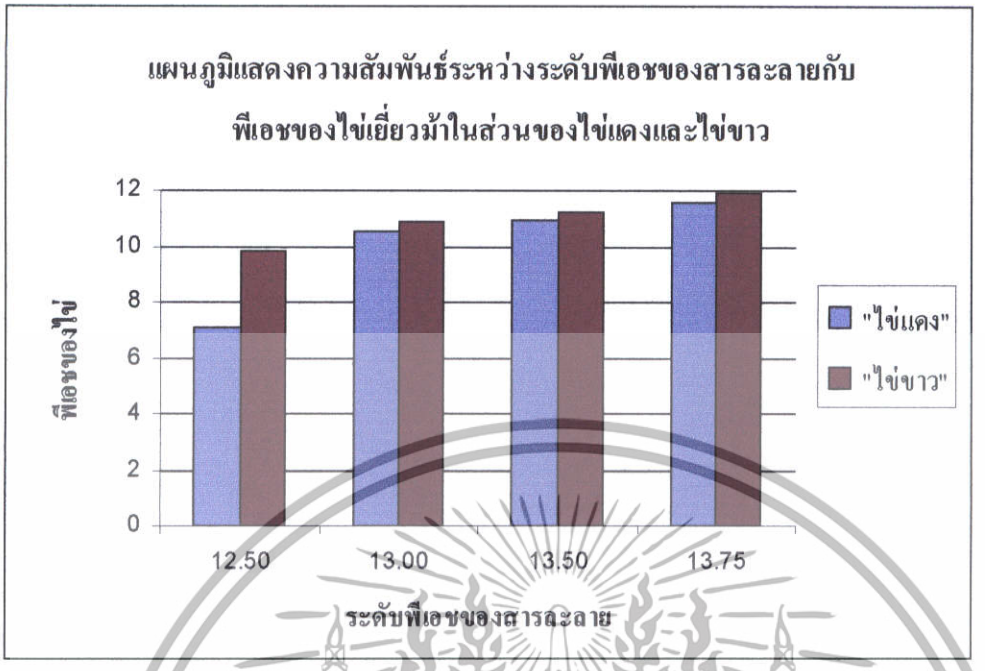
พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล		พีเอช	
	ไข่แดง	ไข่ขาว	ไข่แดง	ไข่ขาว
12.50	35.00 ± 5.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	7.06 ± 0.13^{a}	9.85 ± 0.12^{a}
13.00	100.00 ± 0.00^{b}	70.19 ± 26.48^{b}	10.55 ± 0.10^{b}	10.91 ± 0.12^{b}
13.50	0.00 ± 0.00^{c}	17.33 ± 20.67^{a}	10.97 ± 0.15^{c}	11.23 ± 0.60^{c}
13.75	0.00 ± 0.00^{c}	0.00 ± 0.00^{a}	11.57 ± 0.14^{d}	11.92 ± 1.00^{d}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)



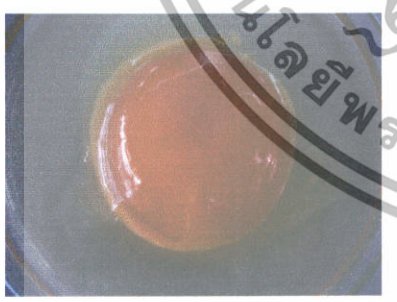
ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 กับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 กับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว

ภาพที่ 4.6 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 12.50 , 13.00 ,13.50 และ 13.75 เป็นเวลา 2 สัปดาห์



pH 12.50

pH 13.00

pH 13.50

pH 13.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางกายภาพที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 12.50 , 13.00 ,13.50 และ 13.75 เป็นเวลา 2 สัปดาห์

พีเอช สารละลาย	ลักษณะของไข่แดง	ลักษณะของไข่ขาว	กลิ่น
12.50	ด้านนอกมีสีแดงเข้มหนา ประมาณ 4-5 mm. เมื่อทิ้งไว้ สักครู่ไข่จะเริ่มแตก ภายในมีสีส้มข้นหนืด	เป็นเมือกเหลวกว่าไข่สด มีสีเหลืองอ่อน	กลิ่นคาวคล้ายไข่สด
13.00	เป็นก้อนกลม ด้านนอกมีสีเขียวเข้มอมเหลืองหนา ประมาณ 1-2 mm. ภายในมีสีแสดคล้ำข้นหนืด	เป็นเจลใสสีน้ำตาลเข้มทั่วทั้งฟองแยกออกจากส่วนไข่แดงชัดเจน เจลนิ่มไม่เกาะตัวกัน เป็นก้อนเมื่อจับจะค่อนข้างเละติดมือ	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
13.50	เป็นก้อนกลมแข็งสีน้ำตาลอ่อน ไม่ยืดหยุ่น ภายในมีลักษณะแข็งมีสีเทาสลับกับสีน้ำตาล	เป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มมีเจลสีน้ำตาลเข้มเล็กน้อย	มีกลิ่นแอมโมเนียฉุนมาก กลิ่นคล้ายไข่เน่า
13.75	เป็นก้อนกลมแข็งสีน้ำตาลอ่อน ไม่ยืดหยุ่น ภายในมีลักษณะแข็งมีสีเทาสลับกับสีน้ำตาล	เป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มทั่วทั้งฟอง	มีกลิ่นแอมโมเนียฉุนมาก กลิ่นคล้ายไข่เน่า

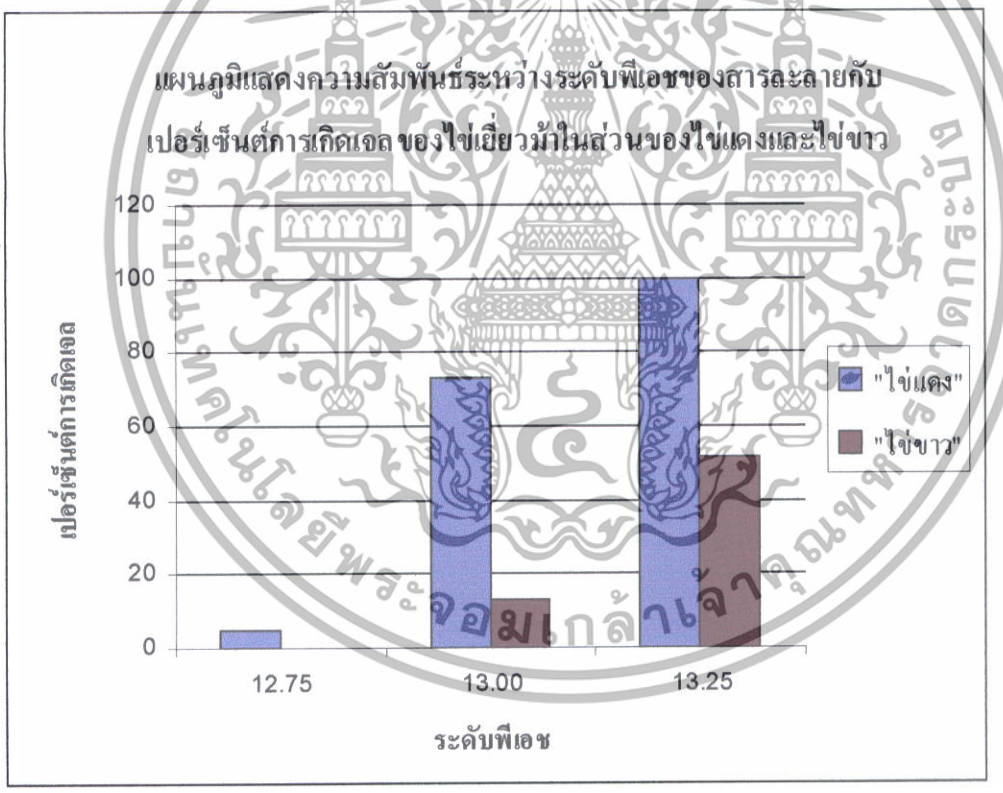
ลักษณะทางกายภาพโดยรวมของไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 12.50 เป็นเวลา 2 สัปดาห์มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของไข่แดงแต่ไข่ขาวยังคงมีลักษณะคล้ายไข่สด ไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 13.00 มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโดยรวมคล้ายไข่เยี่ยวม้าแต่คุณภาพยังไม่ดีพอ ส่วนไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 13.50 และ 13.75 ไข่มีลักษณะคล้ายกับเกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไม่เกิดเป็นลักษณะของไข่เยี่ยวม้า ดังนั้นจึงตัดการศึกษาที่สารละลาย pH 12.50 , 13.50 และ 13.75 แล้วทำการศึกษาที่ช่วงของสารละลาย pH 12.75, 13.00 และ 13.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่สารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

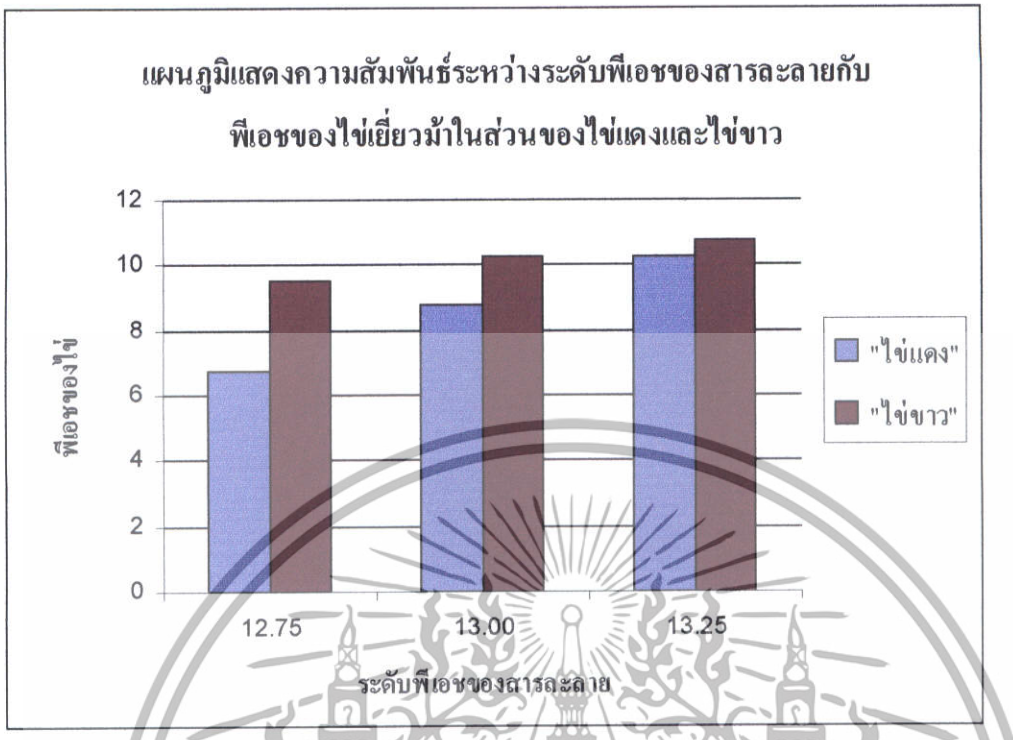
พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล		พีเอช	
	ไข่แดง	ไข่ขาว	ไข่แดง	ไข่ขาว
12.75	5.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	6.74 ± 0.16^{a}	9.53 ± 0.44^{a}
13.00	73.33 ± 20.82^{b}	12.86 ± 11.45^{a}	8.77 ± 1.02^{b}	10.28 ± 0.29^{b}
13.25	100.00 ± 0.00^{c}	51.88 ± 13.97^{b}	10.28 ± 0.52^{c}	10.79 ± 0.20^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)



แผนภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 12.75, 13.00 และ 13.25 กับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 12.75, 13.00 และ 13.25 กับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและ ไข่ขาว

ภาพที่ 4.9 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 12.75,13.00 และ 13.25 เป็นเวลา 2 สัปดาห์

pH 12.75	pH 13.00	pH 13.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางกายภาพที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.6 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 12.75 , 13.00 และ 13.25 เป็นเวลา 2 สัปดาห์

พีเอช สารละลาย	ลักษณะของไข่แดง	ลักษณะของไข่ขาว	กลิ่น
12.75	มีสีส้มเข้ม ตรงกลางข้น	เป็นของเหลวใสสีคล้ายไข่สด	กลิ่นคาวคล้ายไข่สด
13.00	ด้านนอกมีสีเขียวอมเหลือง หนาประมาณ 2-3 mm. ลักษณะอ่อนตัวไม่เกาะกันทั้งฟองภายในมีสีแดงคล้ำ หนืด กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นของเหลวสีน้ำตาลอ่อน เกือบทั้งฟอง มีส่วนเป็นเจลใส สีน้ำตาลอ่อนเล็กน้อย	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
13.25	เป็นก้อนกลม ด้านนอกมีสีเขียวอมเหลืองหนาประมาณ 2-3 mm. ภายในมีสีแดงคล้ำ หนืด กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นเจลใสสีน้ำตาลไม่ทั่วทั้งฟอง เจลนิ่ม เกาะตัวกัน บางส่วนเป็นของเหลวสีเหลืองเข้ม	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย

ลักษณะทางกายภาพโดยรวมของไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 12.75 มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของไข่แดง แต่ไข่ขาวยังคงมีลักษณะคล้ายไข่สด ส่วนไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 13.00 และ 13.25 มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโดยรวมที่คาดว่าจะเกิดไข่เยี่ยวม้า ดังนั้นจึงทำการศึกษาที่สารละลาย pH 13.0 และ 13.25 ต่อไปและตัดการศึกษาที่สารละลาย pH 12.75

4.1.3 ผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้า เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

เพิ่มระยะเวลาในการแช่ไข่เป็น 4 สัปดาห์ เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 ในระยะเวลา 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายแล้วก็ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ คือได้ค่า sig. of F-test > 0.05 จากการวิเคราะห์แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่ขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาว มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเพิ่มระดับ pH ให้สูงขึ้น

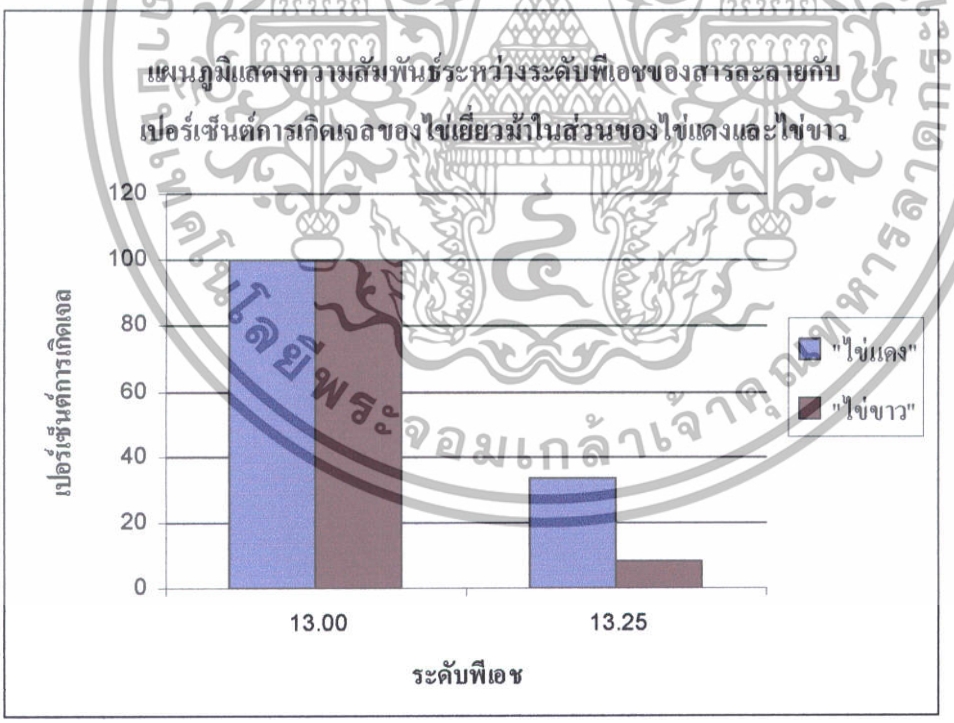
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจสอบ pH ของไข่แดงและไข่ขาว พบว่าระดับ pH ของสารละลายที่ 13.00 และ 13.25 จะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตารางที่ 4.7 pH ของไข่แดงและไข่ขาวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ pH

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลและ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่สารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

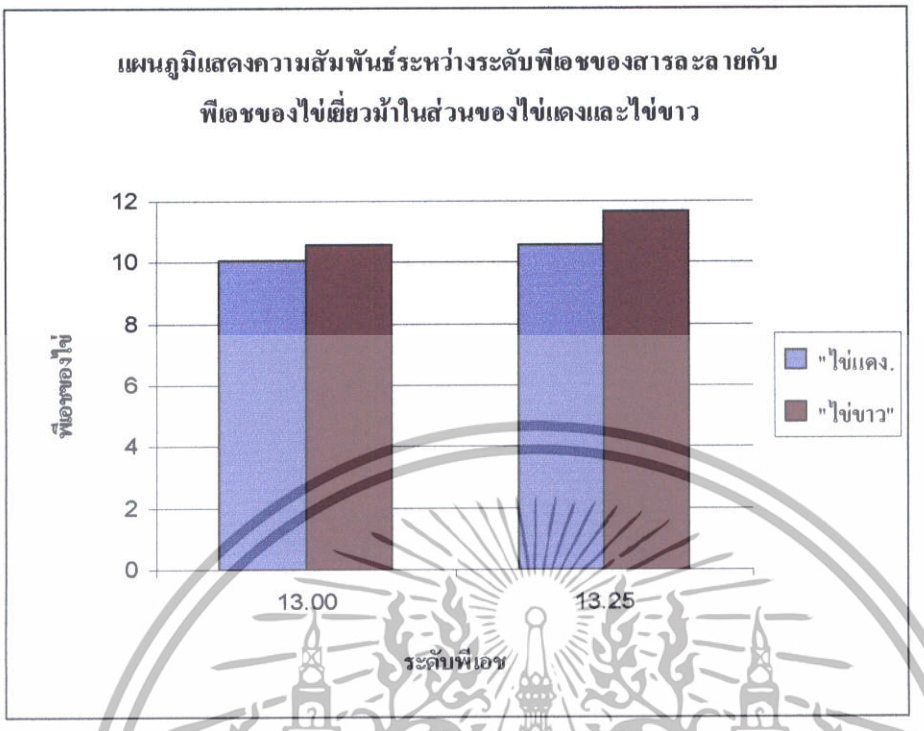
พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล		พีเอช	
	ไข่แดง	ไข่ขาว	ไข่แดง	ไข่ขาว
13.00	100.00 ± 0.00^{a}	100.00 ± 0.00^{a}	10.08 ± 0.14^{a}	10.57 ± 0.07^{a}
13.25	33.33 ± 57.74^{a}	8.09 ± 7.32^{b}	10.61 ± 0.08^{a}	11.64 ± 0.14^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)



ภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 13.00 และ 13.25 กับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายที่ 13.00 และ 13.25 กับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว

ภาพที่ 4.12 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 13.00 และ 13.25 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

pH 13.00

pH13.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางกายภาพที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.8 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 13.00 และ 13.25 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

พีเอช สารละลาย	ลักษณะของไข่แดง	ลักษณะของไข่ขาว	กลิ่น
13.00	เป็นก้อนกลม ด้านนอกมีสีเขียวเข้มอมเหลือง หนาประมาณ 3-4 mm. ภายในมีสีแดงคล้ำ กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นเจลใสสีน้ำตาลอ่อนเล็กน้อย ส่วนใหญ่เป็นของเหลวสีน้ำตาลอ่อน	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
13.25	ด้านนอกมีสีน้ำตาลอ่อนค่อนข้างแข็ง ภายในมีสีเทาสลับกับสีน้ำตาลค่อนข้างแข็ง	เป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มทั่วทั้งฟอง	มีกลิ่นแอมโมเนียฉุนมาก

ลักษณะทางกายภาพโดยรวมของไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 13.00 มีการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นไข่เยี่ยวม้าทั้งสี กลิ่น และลักษณะการเกิดเจลแต่คุณภาพของเจลที่ได้ไม่ดีพอเนื่องจากลักษณะของ เจลอ่อนตัว ไม่แข็งแรง ส่วนไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 13.25 มีลักษณะคล้ายกับโปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลจะขึ้นอยู่กับระดับ pH ของสารละลายที่เหมาะสม ดังที่ ฉันทนา และคณะ (2532) ได้กล่าวว่า การตกตะกอนด้วยด่างของไข่ขาว ถ้าปรับ pH ให้เท่ากับ 11.9 หรือสูงกว่าไข่ขาวจะเปลี่ยนสภาพเป็นวุ้นใส (translucent gel) แต่ในระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการคืนตัวเหลวเป็นน้ำ เวลาในการทำให้เกิดวุ้นขึ้นอยู่กับความแรงของด่าง อัตราความเร็วในการเติมด่าง อัตราส่วนของด่างและไข่ขาวรวมถึงอุณหภูมิด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Cotterill *et al.* (1959) ที่พบว่าวุ้นของไข่ขาวเกิดการคืนตัวเหลวเป็นน้ำเมื่อเติมด่างลงไปในไข่ขาวมากเกินพอ จึงทำให้เกิดข้อคิดควรใช้ปัจจัยอื่นช่วยควบคุมการคืนตัวของวุ้น ซึ่งจากการทดลอง พบว่าการเพิ่ม pH ของสารละลายให้สูงกว่า 13.00 และให้ระยะเวลาในการแช่ที่แตกต่างกันจะให้ผลการเกิดเจลที่ต่างกัน โดยถ้าแช่ไข่ในสารละลายที่ pH 13.25 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ณ อุณหภูมิห้อง พบว่าเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวจะมากกว่าการแช่ไข่ในสารละลายที่ pH 13.00 แต่ถ้าเพิ่มระยะเวลาในการแช่ไข่เป็น 4 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวจะน้อยกว่าการแช่ไข่ในสารละลายที่ pH 13.00 และถ้าแช่ไข่ในสารละลายที่ pH 13.50 และ 13.75 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ณ อุณหภูมิห้อง พบว่าเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวจะน้อยกว่ากว่าการแช่ไข่ในสารละลายที่ pH 13.00 ดังนั้นระยะเวลาในการแช่ไข่จึงอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวมากขึ้นหรือลดลงซึ่งสอดคล้องกับ ฉันทนา และคณะ (2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากการทดลอง พบว่า pH ของไข่แดงและไข่ขาวจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับระดับ pH ของสารละลายที่ใช้ในการแช่ โดย pH ของไข่แดงและไข่ขาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม pH ของสารละลายให้สูงขึ้น และจากการทดลอง พบว่า pH ของไข่แดงและไข่ขาวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ไข่เกิดเจลได้มากขึ้น แต่ถ้า pH ของไข่เกินหรือต่ำกว่าช่วงหนึ่งๆ จะทำให้เจลเกิดการคืนตัวเหลวเป็นน้ำ ดังที่ Cotterill *et al.* (1962) ได้รายงานไว้ว่า ไข่ขาวที่แข็งตัวเป็นวุ้นเนื่องจากด่างนั้นจะเกิดการเหลวคืนตัวเป็นน้ำ (self-liquefaction) ซึ่งจะทำให้เกิด Hydrogen sulfide และทำให้เกิดหมู่ของอะมิโนอิสระด้วย การคืนตัวเหลวของวุ้นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว พบว่าเมื่อไข่ขาวแข็งตัวเป็นวุ้นที่ pH 12.6-12.8 การคืนตัวเหลวจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าวุ้นที่เกิดขึ้นที่ pH 12.2-12.5 แต่เมื่อวุ้นเกิดขึ้นที่ pH 12.1-12.2 การคืนตัวเหลวจะช้าลงคือใช้เวลาหลายอาทิตย์และอาจเป็นการคืนตัวเหลวบางส่วนเท่านั้น

และจากผลการศึกษาของ Cotterill *et al.* (1959) ที่พบว่าไข่ขาวจะแข็งตัวเป็นวุ้นที่ pH 11.5 ระยะเวลาในการแข็งตัวของวุ้นของไข่ขาวจะแปรตามปริมาณของไข่ขาว ปริมาณและความแรงของด่างที่ใช้ อัตราเร็วในการเติมด่างลงไปในไข่ขาวและอุณหภูมิในการผสม เช่นเดียวกับ รุจี (2530) ได้ศึกษาการรวมตัวเป็นวุ้นของไข่เป็ดซึ่งเกี่ยวข้องกับ pH ไว้ดังนี้ คือ ตามทฤษฎีทางเคมีของโปรตีน และเอนไซม์ ไข่เป็ดจะแปรสภาพเป็นไข่เยี่ยวม้าได้ก็ต่อเมื่อไข่ขาวและไข่แดงอยู่ในสภาพที่เป็นด่างซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 11.3-11.7 และ 9.9-10.5 เพราะว่าในช่วงนี้เอ็นไซม์ในไข่ที่เรียกว่า pidanin นั้นทำปฏิกิริยาทำให้กรดอะมิโนในไข่เกิดการแข็งตัวได้ แต่จากการทดลอง พบว่าการแปรสภาพของไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้าโดยการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวจะมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 10.08-10.55 และ 10.57-10.91 ตามลำดับ ถ้าไข่แดงมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สูงกว่า 10.55 ไข่จะมีลักษณะเป็นก้อนกลม แข็ง ไม่ยืดหยุ่น ส่วนของไข่ขาวถ้ามีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สูงกว่า 10.91 ไข่ที่แข็งตัวเป็นเจลจะคืนตัวกลายเป็นน้ำเหลวสีน้ำตาลเข้ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า เช่น ชนิดของไข่ ความสดของไข่ ความหนาของเปลือกไข่ ปริมาณสารละลายที่ซึมผ่านเปลือกไข่ สูตรส่วนประกอบที่ใช้ ระยะเวลาในการผลิต อุณหภูมิในขณะที่ผลิต สารประกอบโลหะหรือสารประกอบชนิดอื่น เป็นต้น ถ้ามีการศึกษาถึงปัจจัยดังกล่าวเพิ่มอาจทำให้สามารถผลิตไข่เยี่ยวม้าที่มีคุณภาพดีและมีความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

อย่างไรก็ตามมีหลายปัจจัยที่อาจมีผลต่อการแข็งตัวเป็นวุ้น สำหรับโปรตีนของไข่ขาวซึ่งมีลักษณะคล้ายกับโปรตีนชนิดอื่น คือจะแข็งตัวเป็นวุ้นได้ภายใต้เงื่อนไขหรือปัจจัยเฉพาะ การแข็งตัวเป็นวุ้นเป็นโครงสร้างเครือข่าย (network structure) ซึ่งเกิดจากการเกาะจับกันเป็นกลุ่มของเส้น polypeptide ตลอดทั้งโมเลกุล (Cotterill *et al.* ,1962) โดยที่จะเกิดการสมดุลย์กันของแรงผลัก (repulsive foeces) และแรงดูด (attractive forces) ระหว่างเส้น polypeptide นั้น ในกรณีของด่างซึ่งทำให้โปรตีนแข็งตัวเป็นวุ้นได้นั้นก็เนื่องจาก coulombic factor ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากประจุลบในปริมาณสูงทำให้เกิดการสมดุลย์ของแรงผลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของสารประกอบโลหะที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่เติมสารประกอบโลหะเป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่ระดับ pH 13.00

เนื่องจากคุณสมบัติของโลหะที่สามารถรวมตัวกับโปรตีนซึ่งทำให้เกิดการตกตะกอน (precipition) หรือทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นวุ้น (coagulation) ของไข่ขาว จึงได้ศึกษาผลของการเติมสารประกอบโลหะ เพื่อช่วยในการเพิ่มผลผลิต เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ pH 13.00 ในระยะเวลา 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับ pH ของสารละลายต่างๆ คือ ระดับ pH ของสารละลายมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า จากตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวขึ้นอยู่กับสารประกอบโลหะและความเข้มข้นที่เลือกใช้ โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบโลหะ

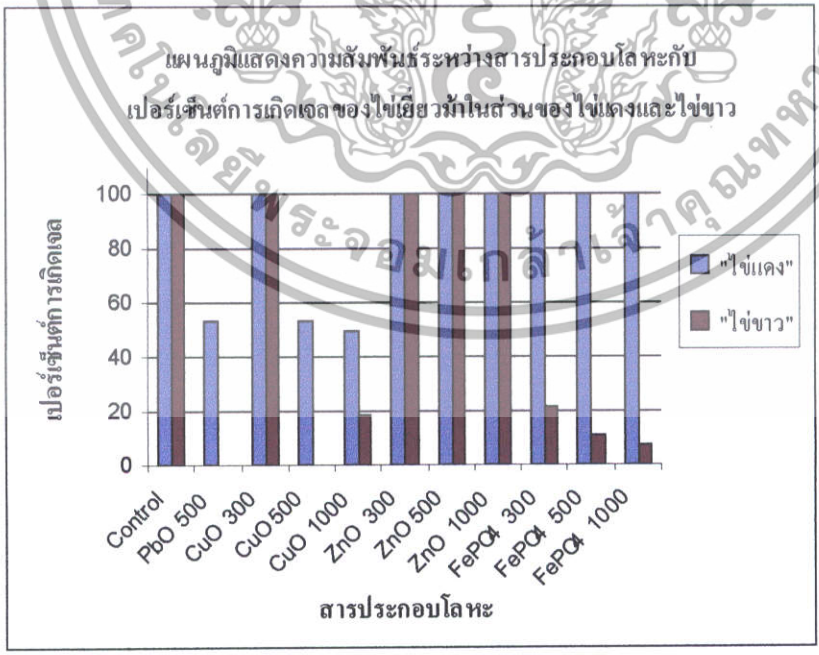
โปรตีนสามารถรวมตัวกับ cation และ anion ได้จากปฏิกิริยาของ carboxyl group หรือ amino group pH สูงกว่า isoelectric point โปรตีนจะมีประจุบวกและจะทำปฏิกิริยากับ anion พวก metallic ions จำนวนมากสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้เป็นสารประกอบร่วม (coordination compounds or complex ions) โดยเกิดจากปฏิกิริยาของ amino N ซึ่งเป็นส่วนของ imidazole N และหมู่ amine ใน peptide link metallic ions เหล่านี้เป็นพวก large charge/radius ratios หรือ strong electrostatic fields ซึ่งเป็นพวก transitionmetal cations ได้แก่โลหะในกลุ่ม IB และ II B เช่น Cu (II), Ag (I), Zn (II) แต่ Al (III) ในกลุ่ม III A ก็สามารถทำให้โปรตีนตกตะกอน (precipitate) ได้เนื่องจากประจุของมันเองและการเป็น small ionic radius อย่างไรก็ตาม metal cations เกือบทั้งหมด ยกเว้นพวก alkali metal (IA) และ alkali earth metals (IIA)เท่านั้นสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการตกตะกอนของโปรตีนได้ (protein precipitant activity) ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นแบบไม่เฉพาะเจาะจง (nonspectific) (ฉันทนา และคณะ, 2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว เมื่อแช่ไข่ใน สารละลายที่เติมสารประกอบโลหะ ที่ระดับ pH 13.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สารประกอบโลหะ	ความเข้มข้น (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล	
		ไข่แดง	ไข่ขาว
Control	-	100.00 ± 0.00^{a}	100.00 ± 0.00^{c}
PbO	500	53.33 ± 5.77^{b}	0.00 ± 0.00^{a}
CuO	300	100.00 ± 0.00^{a}	100.00 ± 0.00^{c}
	500	53.33 ± 5.77^{b}	0.00 ± 0.00^{a}
	1000	50.00 ± 0.00^{b}	18.67 ± 32.34^{ab}
ZnO	300	100.00 ± 0.00^{a}	100.00 ± 0.00^{c}
	500	100.00 ± 0.00^{a}	100.00 ± 0.00^{c}
	1000	100.00 ± 00.00^{a}	100.00 ± 0.00^{c}
$FePO_4$	300	100.00 ± 0.00^{a}	21.91 ± 7.32^{b}
	500	100.00 ± 0.00^{a}	11.27 ± 13.54^{ab}
	1000	100.00 ± 0.00^{a}	7.23 ± 6.03^{ab}

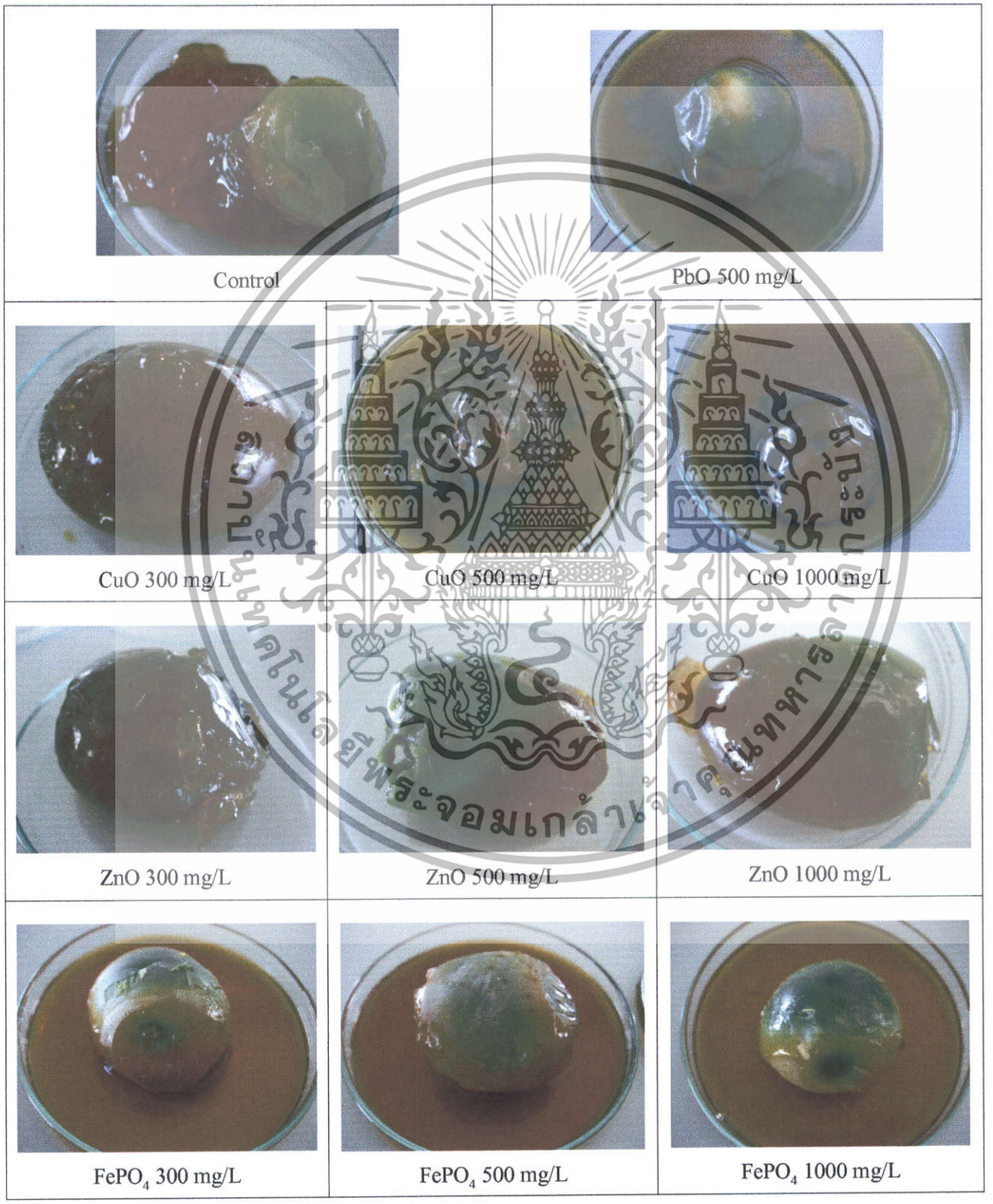
หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)



ภาพที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโลหะกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH ของสารละลาย 13.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.14 แสดงภาพการเกิดเจลของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 13.00 และเติมสารประกอบโลหะ PbO ความเข้มข้น 500 mg/L และ CuO , ZnO , $FePO_4$ ความเข้มข้น 300 ,500 และ 1000 mg/L เป็นเวลา 4 สัปดาห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางกายภาพที่ทดสอบโดยผู้ทดลอง

ตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะทางกายภาพของไข่ เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย pH 13.00 และเติมสารประกอบโลหะ PbO ความเข้มข้น 500 mg/L และ CuO , ZnO , $FePO_4$ ความเข้มข้น 300 ,500 และ 1000 mg/L เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สารประกอบโลหะ	ความเข้มข้น (mg/L)	ลักษณะของไข่แดง	ลักษณะของไข่ขาว	กลิ่น
Control	-	เป็นก้อนกลม ด้านนอกมีสีเทาอมเขียว หนาประมาณ 2-3 mm. ภายในมีสีแดงคล้ำ หนืด กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นเจลใสสีน้ำตาลเข้ม ทั่วทั้งฟองแยกออกจากส่วนไข่แดงชัดเจน เจลอ่อนตัวไม่เกาะกันเป็นก้อน	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
PbO	500	เป็นก้อนกลม ด้านนอกมีสีเขียวเข้มอมเหลืองหนาประมาณ 1-2 mm. อ่อนตัวไม่เกาะกัน ภายในมีสีแดงคล้ำ กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นของเหลวสีน้ำตาลทั่วทั้งฟอง	มีกลิ่นแอมโมเนียฉุน
CuO	300	เป็นก้อนกลมด้านนอกมีสีเทาอมเขียวหนาประมาณ 3-4 mm. ภายในมีเทา หนืดตรงกลางสีแดงคล้ำ กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นเจลใสสีน้ำตาลเข้ม ทั่วทั้งฟอง เจล ค่อนข้างแข็งคงตัว เมื่อจับจะยืดหยุ่น	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
	500	เป็นก้อนกลมสีแดงคล้ำ ด้านนอกมีสีเทาอมเขียวและไม่คงตัว ภายในมีสีแดงคล้ำ กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นของเหลวสีน้ำตาลทั่วทั้งฟอง	มีกลิ่นแอมโมเนียฉุน
	1000	เป็นก้อนกลมสีแดงคล้ำ ด้านนอกมีสีเทาอมเขียวและภายในมีสีแดงคล้ำ กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นของเหลวสีน้ำตาลทั่วทั้งฟอง	มีกลิ่นแอมโมเนียฉุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

สารประกอบโลหะ	ความเข้มข้น (mg/L)	ลักษณะของไข่แดง	ลักษณะของไข่ขาว	กลิ่น
ZnO	300	เป็นก้อนกลมด้านนอกสีเทาอมเขียวหนาประมาณ 3-4 mm. ภายในมีสีแดงคล้ำกึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นเจลใสสีน้ำตาลเข้มทั่วทั้งฟอง เจลเกาะกันเป็นก้อน ค่อนข้างนิ่มเมื่อแกะจะติดเปลือก	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
	500	เป็นก้อนกลมด้านนอกมีสีเทาอมเขียวหนาประมาณ 3-4 mm. ภายในมีสีเทา หนืดตรงกลางสีแดงคล้ำกึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นเจลใสสีน้ำตาลเข้มทั่วทั้งฟอง เจลคงตัวเกาะกันเป็นก้อนเมื่อจับจะยืดหยุ่นแต่ค่อนข้างนิ่ม	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
	1000	เป็นก้อนกลมด้านนอกมีสีเทาอมเขียวหนาประมาณ 3-4 mm. ภายในมีสีเทา หนืดตรงกลางสีแดงคล้ำกึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นเจลใสสีน้ำตาลเข้มทั่วทั้งฟอง เจลคงตัวเกาะกันเป็นก้อนค่อนข้างแข็ง เมื่อจับจะยืดหยุ่น	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
$FePO_4$	300	เป็นก้อนกลมด้านนอกมีเขียวอมเหลืองหนาประมาณ 2-3 mm. ภายในมีสีแดงคล้ำ กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นวุ้นใสสีน้ำตาลเข้มเล็กน้อย ส่วนใหญ่เป็นของเหลวใสสีน้ำตาล	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
	500	เป็นก้อนกลมด้านนอกมีเขียวอมเหลืองหนาประมาณ 2-3 mm. ภายในมีสีแดงคล้ำ กึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นของเหลวสีน้ำตาลทั่วทั้งฟอง	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย
	1000	เป็นก้อนกลมผนังด้านนอกมีเขียวอมเหลืองหนาประมาณ 2-3 mm. ภายในมีสีแดงคล้ำกึ่งแข็งกึ่งเหลว	เป็นของเหลวสีน้ำตาลทั่วทั้งฟอง	มีกลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางกายภาพโดยรวมของไข่ที่แช่ในสารละลาย pH 13.00 โดยไม่เติมสารประกอบโลหะซึ่งกำหนดให้เป็น Control มีการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นไข่เยี่ยวม้าทั้งสี กลิ่น และลักษณะการเกิดเจลแต่คุณภาพของเจลที่ได้ไม่ดีพอเนื่องจากลักษณะของเจลอ่อนตัว ไม่แข็งแรง ทำให้ไม่เกาะกันทั้งฟอง ไข่ขาวแยกออกจากส่วนของไข่แดงชัดเจน แต่ไข่ที่แช่ในสารละลายที่มีการเติมสารประกอบโลหะ CuO ความเข้มข้น 300 mg/L และ ZnO ความเข้มข้น 1000 mg/L เกิดเป็นไข่เยี่ยวม้าที่มีเจลคงตัวทั่วทั้งฟอง เจลมีความแข็งแรงคุณภาพดีคล้ายกับไข่เยี่ยวม้าตามท้องตลาด ส่วนไข่ที่แช่ในสารละลายที่เติม ZnO ความเข้มข้น 500 และ 300 mg/L จะมีเจลอ่อนกว่าแต่มีคุณภาพดีรองลงมาตามลำดับ ไข่ที่แช่ในสารละลายที่มีการเติม PbO ความเข้มข้น 500 mg/L และ CuO ความเข้มข้น 500 , 1000 mg/L มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของไข่แดงและไข่ขาวคล้ายกันแต่ไม่เกิดเป็นไข่เยี่ยวม้า ส่วน $FePO_4$ ความเข้มข้น 300 ,500 ,1000 mg/L ไข่แดงมีลักษณะคล้ายไข่เยี่ยวม้าแต่ไข่ขาวเหลวเป็นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเพื่อทำการศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลาย ไข่ขาวและไข่แดงที่มีผลต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าและศึกษา ชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะซึ่งคาดว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในการผลิตไข่เยี่ยวม้าและคาดว่าจะมีส่วนช่วยในการทดแทนการใช้สารประกอบที่มีอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่า

1. การผลิตไข่เยี่ยวม้าแบบแช่ในสารละลายโดยใช้ส่วนประกอบคือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 30 กรัม ปูนขาว(CaO) 75 กรัม เกลือแกง (NaCl) 50 กรัม ชาใบ 8 กรัม และน้ำ 500 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายที่ระดับ 13.00 ใช้เวลาในการผลิต 4 สัปดาห์ เป็นวิธีที่ทำให้เกิดเจลในไข่เยี่ยวม้าได้ผลดีที่สุด แต่คุณภาพของเจลไม่ดีคือ ลักษณะของเจลอ่อนตัว ไม่แข็งแรง ไม่รวมตัวกันทั้งฟอง

2. การแปรสภาพของไข่เป็ดเป็นไข่เยี่ยวม้าโดยการเกิดเจลของไข่แดงและไข่ขาวจะมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 10.08-10.55 และ 10.57-10.91 ตามลำดับ ถ้า ไข่แดงมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สูงกว่า 10.55 ไข่จะมีลักษณะเป็นก้อนกลม แข็ง ไม่ยืดหยุ่น ส่วนของไข่ขาวถ้ามีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สูงกว่า 10.91 ไข่ที่แข็งตัวเป็นเจลจะคืนตัวกลายเป็นน้ำเหลวสีน้ำตาลเข้ม

3. การผลิตไข่เยี่ยวม้าแบบแช่ในสารละลายที่ระดับความเป็นกรดด่าง(pH) 13.00 และเติมสารประกอบโลหะ CuO 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาผลิต 4 สัปดาห์เป็นวิธีที่ทำให้เกิดเจลในไข่เยี่ยวม้าได้ดีที่สุด โดยคุณภาพของเจลในไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากการเติม CuO ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรในสารละลาย จะมีลักษณะเจลแข็งแรงที่สุด มีความคงตัว และยืดหยุ่นดี ส่วนลักษณะเจลของไข่เยี่ยวม้าที่ได้จากการเติม ZnO ความเข้มข้น 1000 , 500 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร มีคุณภาพดีรองลงมาตามลำดับ

4. การเติมสารประกอบโลหะในการผลิตไข่เยี่ยวม้ามีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณลักษณะเจลของไข่ให้มีความคงตัว และแข็งแรงยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้า เช่น ชนิดของไข่ ความบริสุทธิ์ของไข่ ความหนาของเปลือกไข่ ปริมาณสารละลายที่ซึมผ่านเปลือกไข่ สูตรส่วนประกอบที่ใช้ ระยะเวลาในการผลิต อุณหภูมิในขณะที่ผลิต โลหะหรือสารประกอบชนิดอื่น เป็นต้น ถ้ามีการศึกษาถึงปัจจัยดังกล่าวเพิ่มอาจทำให้สามารถผลิตไข่เยี่ยวม้าที่มีคุณภาพดีและมีความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

2. ในการศึกษาทดลองครั้งนี้เป็นการทดสอบคุณภาพและลักษณะทางกายภาพของไข่เยี่ยวม้าโดยใช้ประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบเพียงอย่างเดียว เช่น สี กลิ่น และการเกิดเจล ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะของวิธีการใช้ประสาทสัมผัสกับวิธีวัดค่าปัจจัยทางตรงโดยใช้เครื่องมือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อสัมผัสซึ่งจะเป็นการวัดความคงตัวของวุ้นได้เป็นอย่างดี อาจใช้วิธีการดังนี้

Stadelman (1977) ได้กล่าวถึงการตรวจสอบคุณภาพของการเป็นเจลของไข่ขาวตามวิธีของ Barmore

วิธีที่ 1 โดยการวัด stress ที่ใช้ดึงเจลของไข่ขาวซึ่งมีขนาดและรูปร่างตามมาตรฐานออกจากกัน วิธีนี้คล้ายกับการตรวจสอบ tensile strength ที่ตรวจสอบเค้ก

วิธีที่2 โดยวัดความลึกของลูกบอลเหล็กมาตรฐาน (standard steel ball) ที่แทงลงไปในวุ้นนั้น เครื่องมือชนิดนี้ประกอบไปด้วย tube ซึ่งแทงลงไปในวุ้นในความลึกที่กำหนดไว้แน่นอน

วิธีที่ 3 โดยการใช้ plungen จิ้มลงบนวุ้นแล้ววัดแรงที่ใช้ในการแทงลงไป หลักเกณฑ์ของเครื่องมือชนิดนี้คล้ายๆ กับ Bloom Gelometer และ Delaware Jelly Strength Tester เครื่องมือเหล่านี้แตกต่างกันเพียงต้นกำเนิดของแรงและวิธีการวัดเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ฉันทนา จุติเทพารักษ์และคณะ. 2532. *การผลิตไข่เยี่ยวม้าโดยไม่ใช่สารประกอบตะกั่ว.* กองวิชาการ สำนักงานอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 85 หน้า

พยุงศักดิ์ มะโนชัย. 2542. "การผลิตไข่เยี่ยวม้าโดยไม่ใช้โลหะหนัก." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2532. *เคมีอาหาร.* กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 381

ราณี สุรกาญจน์กุล. 2533. "การแปรรูปไข่เป็ดเป็นผลิตภัณฑ์ไข่เยี่ยวม้าที่มีตะกั่วปริมาณน้อย." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โรคจากพิษสังกะสี . 2549[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://dpc9.ddc.moph.go.th/group/noc/EnvOcc(dpc9)

ศุภชัย ธาราชีวิน. 2539. การผลิตไข่เยี่ยวม้าจากไข่นกกระทา. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 63 หน้า

ศรีอนงค์ กิจสัมนวงกูร. 2522. "แทนนิน." สัมมนาวิทยาการอาหาร ภาควิชาวิทยาการอาหาร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2536. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไข่เยี่ยวม้า มอก. 1205-2536

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. Vol. 38.

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

Mine, Y. 1995. "Recent advances in the understanding of egg white protein functionality." *Trends In Food Science and Technology* 6: 225-231

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stadelman, W.J. and O.J. Cotterill. 1997. *Egg Science&Technology Second Edition*. AVI Publishing company,Inc., Westport, Connecticut

Woodward, S.A. 1990. "Egg protein gel." *Food gel*. Elsevier Applied Science, London and New York

Ziegler, G.R. and E.A. Foegeding. 1990. "The gel of protein." *Advance in food and nutrition research*. New York. 34: 463-465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

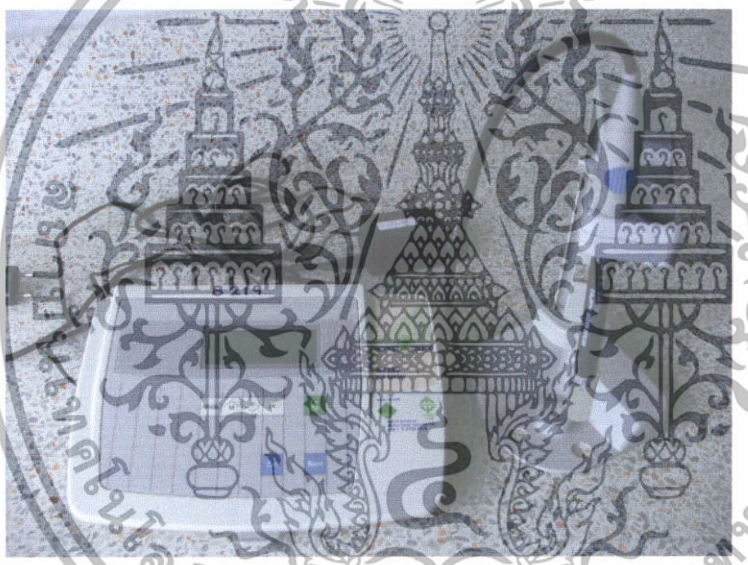
การทำไข่เยี่ยวม้าแบบแช่ในสารละลาย

ภาพที่ 1ก ภาพตัวอย่างการแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ pH ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เครื่อง pH meter



ภาพที่ 1ข เครื่อง pH meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

ตารางที่ 1ค แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล							
	ไข่แดง				ไข่ขาว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
11.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.50	10.00	10.00	5.00	8.33	0.00	0.00	0.00	0.00
13.00	100.00	50.00	50.00	66.67	100.00	65.57	68.37	77.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ค แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	11.50	3
	12.00	3
	12.50	3
	13.00	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9322.917[a]	3	3107.639	14.769	.001
Intercept	4218.750	1	4218.750	20.050	.002
PH_SOL	9322.917	3	3107.639	14.769	.001
Error	1683.333	8	210.417		
Total	15225.000	12			
Corrected Total	11006.250	11			

a. R Squared = .847 (Adjusted R Squared = .790)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ค แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาวที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	11.50	3
	12.00	3
	12.50	3
	13.00	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13681.981[a]	3	4560.660	49.895	.000
Intercept	4560.660	1	4560.660	49.895	.000
PH_SOL	13681.981	3	4560.660	49.895	.000
Error	731.241	8	91.405		
Total	18973.882	12			
Corrected Total	14413.222	11			

a. R Squared = .949 (Adjusted R Squared = .930)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

ตารางที่ 1ง แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่มีผลต่อ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาวที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

พีเอชของสารละลาย	พีเอชของไข่							
	ไข่แดง				ไข่ขาว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
11.50	6.49	6.17	6.33	6.33	9.37	9.45	9.39	9.40
12.00	6.34	6.29	6.47	6.37	9.31	9.24	9.52	9.36
12.50	6.81	6.73	6.67	6.74	9.51	9.50	9.43	9.48
13.00	9.54	7.76	8.12	8.47	10.59	10.35	10.41	10.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ง แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	11.50	3
	12.00	3
	12.50	3
	13.00	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.264[a]	3	3.088	13.354	.002
Intercept	584.087	1	584.087	2526.053	.000
PH_SOL	9.264	3	3.088	13.354	.002
Error	1.850	8	.231		
Total	595.200	12			
Corrected Total	11.113	11			

a. R Squared = .834 (Adjusted R Squared = .771)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ง แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาวที่ระดับ pH 11.50, 12.00, 12.50 และ 13.00 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 1 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	11.50	3
	12.00	3
	12.50	3
	13.00	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.441[a]	3	.814	80.438	.000
Intercept	1122.687	1	1122.687	110974.0	.000
PH_SOL	2.441	3	.814	80.438	.000
Error	8.093E-02	8	1.012E-02		
Total	1125.209	12			
Corrected Total	2.522	11			

a. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .956)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ตารางที่ 1จ แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล							
	ไข่แดง				ไข่ขาว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
12.50	35.00	40.00	30.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100	61.18	49.39	70.19
13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	40.21	0.00	11.79	17.33
13.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ข แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	12.50	3
	13.00	3
	13.50	3
	13.75	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	20006.250[a]	3	6668.750	1067.000	.000
Intercept	13668.750	1	13668.750	2187.000	.000
PH_SOL	20006.250	3	6668.750	1067.000	.000
Error	50.000	8	6.250		
Total	33725.000	12			
Corrected Total	20056.250	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3จ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาวที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	12.50	3
	13.00	3
	13.50	3
	13.75	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9935.991[a]	3	3311.997	11.740	.003
Intercept	5745.250	1	5745.250	20.364	.002
PH_SOL	9935.991	3	3311.997	11.740	.003
Error	2256.971	8	282.121		
Total	17938.213	12			
Corrected Total	12192.962	11			

a. R Squared = .815 (Adjusted R Squared = .745)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ตารางที่ 1ฉ แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่มีผลต่อ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

พีเอชของสารละลาย	พีเอชของไข่							
	ไข่แดง				ไข่ขาว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
12.50	7.00	7.20	6.97	7.06	9.96	9.87	9.73	9.85
13.00	10.54	10.56	10. 48	10.52	11.04	10.89	10.81	10.91
13.50	10.91	10.89	11.16	10.97	11.18	11.22	11.29	11.23
13.75	11.67	11.41	11.63	11.57	11.82	12.01	11.93	11.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ฉ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	12.50	3
	13.00	2
	13.50	3
	13.75	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	36.910[a]	3	12.303	742.860	.000
Intercept	1075.396	1	1075.396	64931.88	.000
PH_SOL	36.910	3	12.303	742.860	.000
Error	.116	7	1.656E-02		
Total	1135.826	11			
Corrected Total	37.025	10			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ฉ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาวที่ระดับ pH 12.50, 13.00, 13.50 และ 13.75 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	12.50	3
	13.00	3
	13.50	3
	13.75	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.660[a]	3	2.220	226.138	.000
Intercept	1446.505	1	1446.505	147352.0	.000
PH_SOL	6.660	3	2.220	226.138	.000
Error	7.853E-02	8	9.817E-03		
Total	1453.244	12			
Corrected Total	6.738	11			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ตารางที่ 1ช แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล							
	ไข่แดง				ไข่ขาว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
12.75	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13.00	90.00	50.00	80.00	73.33	21.96	0.00	16.61	12.86
13.25	100.00	100.00	100.00	100.00	66.34	50.81	38.48	50.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ช แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	12.75	3
	13.00	3
	13.25	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14405.556[a]	2	7202.778	49.865	.000
Intercept	31802.778	1	31802.778	220.173	.000
PH_SOL	14405.556	2	7202.778	49.865	.000
Error	866.667	6	144.444		
Total	47075.000	9			
Corrected Total	15272.222	8			

a. R Squared = .943 (Adjusted R Squared = .924)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ช แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาวที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	12.75	3
	13.00	3
	13.25	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4379.043[a]	2	2189.521	20.147	.002
Intercept	4190.404	1	4190.404	38.559	.001
PH_SOL	4379.043	2	2189.521	20.147	.002
Error	652.049	6	108.675		
Total	9221.496	9			
Corrected Total	5031.091	8			

a. R Squared = .870 (Adjusted R Squared = .827)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ตารางที่ 1ซ แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่มีผลต่อ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

พีเอชของสารละลาย	พีเอชของไข่							
	ไข่แดง				ไข่ขาว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
12.75	6.70	6.61	6.92	6.74	9.02	9.82	9.74	9.53
13.00	9.61	7.64	9.05	8.77	10.29	9.98	10.56	10.28
13.25	10.88	9.98	9.97	10.28	10.95	10.86	10.56	10.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ซ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	12.75	3
	13.00	3
	13.25	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18.858[a]	2	9.429	21.287	.002
Intercept	664.952	1	664.952	1501.134	.000
PH_SOL	18.858	2	9.429	21.287	.002
Error	2.658	6	.443		
Total	686.468	9			
Corrected Total	21.516	8			

a. R Squared = .876 (Adjusted R Squared = .835)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ซ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาวที่ระดับ pH 12.75, 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 2 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	12.75	3
	13.00	3
	13.25	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.422[a]	2	1.211	11.351	.009
Intercept	935.952	1	935.952	8772.723	.000
PH_SOL	2.422	2	1.211	11.351	.009
Error	.640	6	.107		
Total	939.014	9			
Corrected Total	3.062	8			

a. R Squared = .791 (Adjusted R Squared = .721)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฌ

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตารางที่ 1ฌ แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจล							
	ไข่แดง				ไข่ขาว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
13.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
13.25	100.00	0.00	0.00	33.33	0.00	14.23	10.04	8.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ฌ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงที่ระดับ 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	13.00	3
	13.25	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6666.667[a]	1	6666.667	4.000	.116
Intercept	26666.667	1	26666.667	16.000	.016
PH_SOL	6666.667	1	6666.667	4.000	.116
Error	6666.667	4	1666.667		
Total	40000.000	6			
Corrected Total	13333.333	5			

a. R Squared = .500 (Adjusted R Squared = .375)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ฌ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาวที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	13.00	3
	13.25	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12671.172[a]	1	12671.172	473.909	.000
Intercept	17525.172	1	17525.172	655.452	.000
PH_SOL	12671.172	1	12671.172	473.909	.000
Error	106.950	4	26.738		
Total	30303.295	6			
Corrected Total	12778.122	5			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง โดยการแปรระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตารางที่ 1ญ แสดงผลการศึกษาเบื้องต้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่มีผลต่อ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว ที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

พีเอชของสารละลาย	พีเอชของไข่							
	ไข่แดง				ไข่ขาว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
13.00	9.92	10.14	10.18	10.08	10.57	10.64	10.50	10.57
13.25	10.53	10.68	10.61	10.61	11.62	11.79	11.51	11.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ญ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงที่ระดับ 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	13.00	3
	13.25	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.416[a]	1	.416	32.978	.005
Intercept	641.907	1	641.907	50877.72	.000
PH_SOL	.416	1	.416	32.978	.005
Error	5.047E-02	4	1.262E-02		
Total	642.374	6			
Corrected Total	.467	5			

a. R Squared = .892 (Adjusted R Squared = .865)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ญ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของสารละลายกับ pH ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาวที่ระดับ pH 13.00 และ 13.25 เมื่อแช่ไข่ในสารละลายเป็นเวลา 4 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
PH_SOL	13.00	3
	13.25	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PH_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.717[a]	1	1.717	138.496	.000
Intercept	739.926	1	739.926	59671.46	.000
PH_SOL	1.717	1	1.717	138.496	.000
Error	4.960E-02	4	1.240E-02		
Total	741.693	6			
Corrected Total	1.767	5			

a. R Squared = .972 (Adjusted R Squared = .965)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฏ

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว โดยการแปรชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะ เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ pH 13.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตารางที่ 1ฏ แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่เยี่ยวในส่วนของไข่แดงและไข่ขาว เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่เติมสารประกอบโลหะต่างๆ ที่ระดับ pH 13.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สารประกอบโลหะ	ความเข้มข้น (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลของไข่							
		ไข่แดง				ไข่ขาว			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Control	-	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
PbO	500	60.00	50.00	50.00	53.33	0.00	0.00	0.00	0.00
CuO	300	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	500	50.00	50.00	60.00	53.33	0.00	0.00	0.00	0.00
	1000	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	56.01	18.67
ZnO	300	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	1000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$FePO_4$	300	100.00	100.00	100.00	100.00	26.90	25.32	13.51	21.91
	500	100.00	100.00	100.00	100.00	26.90	3.20	3.72	11.27
	1000	100.00	100.00	100.00	100.00	14.19	3.75	3.75	7.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ฎ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล
ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่แดง เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ pH 13.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
COMPOUND	1	Control	3
	2	PbO(500)	3
	3	CuO(300)	3
	4	CuO(500)	3
	5	CuO(1000)	3
	6	ZnO(300)	3
	7	ZnO(500)	3
	8	ZnO(1000)	3
	9	FePO4(300)	3
	10	FePO4(500)	3
	11	FePO4(1000)	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_YOLK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14963.636[a]	10	1496.364	246.900	.000
Intercept	249603.030	1	249603.030	41184.50	.000
COMPOUND	14963.636	10	1496.364	246.900	.000
Error	133.333	22	6.061		
Total	264700.000	33			
Corrected Total	15096.970	32			

a. R Squared = .991 (Adjusted R Squared = .987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3฿ แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาณของสารประกอบโลหะกับเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล ของไข่เยี่ยวม้าในส่วนของไข่ขาว เมื่อแช่ไข่ในสารละลายที่ระดับ pH 13.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
COMPOUND	1	Control	3
	2	PbO(500)	3
	3	CuO(300)	3
	4	CuO(500)	3
	5	CuO(1000)	3
	6	ZnO(300)	3
	7	ZnO(500)	3
	8	ZnO(1000)	3
	9	FePO4(300)	3
	10	FePO4(500)	3
	11	FePO4(1000)	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: GEL_ALBU

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	67776.432[a]	10	6777.643	56.532	.000
Intercept	85247.502	1	85247.502	711.045	.000
COMPOUND	67776.432	10	6777.643	56.532	.000
Error	2637.588	22	119.890		
Total	155661.522	33			
Corrected Total	70414.020	32			

a. R Squared = .963 (Adjusted R Squared = .946)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเพชรี เคณาภูมิ เกิดเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2526 ที่อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนตอนปลายจากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี ในปี พ.ศ. 2545 และสำเร็จปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต(อุตสาหกรรมเกษตร) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2549

นางสาวอลิสรา บรรดาศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 6 กันยายน พ.ศ. 2526 ที่อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนตอนปลายจากโรงเรียนสตรีนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ในปี พ.ศ. 2545 และสำเร็จปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต(อุตสาหกรรมเกษตร) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้