การยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่โดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา

นางสาวสุกัญญา ยาเสร็จ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PROLONGING SHELF LIFE OF HEN EGGS BY COATING WITH CHITOSAN PREPARED FROM GAMMA IRRADIATION

Miss Sukanya Yaset

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่โดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา
โดย	นางสาวสุกัญญา ยาเสร็จ
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

สุกัญญา ยาเสร็จ : การยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่โดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา. (PROLONGING SHELF LIFE OF HEN EGGS BY COATING WITH CHITOSAN PREPARED FROM GAMMA IRRADIATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง, 60 หน้า.

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคติน เตรียมได้จากการลดหมู่อะซีติลของไคติน (Deacetylation) ที่ได้จากเปลือกกุ้ง เปลือกปู แกนปลาหมึกและผนังเซลล์ของเชื้อราบางชนิด ทำการตัดทอนโมเลกุลของไคโตซานด้วยการฉายรังสีแกมมาในช่วง 10 ถึง 100 กิโลเกรย์ ในรูปแบบของแข็งซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวกและรวดเร็ว โดยที่โครงสร้างของไคโตซานไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นทำการละลายไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีแกมมาในกรดอะซิติก 2 % (v/v) ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของสาระลายไคโตซานเป็น 1 % (w/v) ปรับค่า pH ให้มีค่า 5.6 ด้วย 6 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วทำการเคลือบไข่ไก่โดยการจุ่มแช่ในสารละลายไคโตซานเป็นเวลา 5 วินาที และศึกษาการเคลือบ 1, 2 และ 3 ชั้น พร้อมทำการประเมินคุณภาพของไข่ไก่ในส่วนของ pH ของไข่ขาว การสูญเสียน้ำหนัก ความสดของไข่ไก่ การแยกกันของไข่ขาวและไข่แดง และน้ำหนักของไข่ขาวและไข่แดง ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 0 ถึง 8 สัปดาห์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคซานที่ฉายรังสี 10 กิโลเกรย์ น้ำหนักโมเลกุล 492 กิโลดาลตัน เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบไข่ไก่ ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 6 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน ซึ่งเก็บได้เพียง 2 สัปดาห์เท่านั้นที่ยังคงคุณภาพดีที่สุด งานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับไข่ชนิดอื่นๆ รวมทั้งในกระบวนการอุตสาหกรรมผลิตไข่เพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

5270546421: MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEYWORDS : CHITOSAN, COATING OF HEN EGG, RADIATION DEGRADATION, HAUGH UNIT, EXTEND SHELF LIFE

SUKANYA YASET: PROLONGING SHELF LIFE OF HEN EGGS BY COATING WITH CHITOSAN PREPARED FROM GAMMA IRRADIATION. ADVISOR: ASST.PROF. DOONYAPONG WONGSAWAENG, 60 pp.

Chitosan is a biopolymer derivative of chitin prepared from deacetylation of chitin from shrimp shells, crab shells, squid pens and cell walls of certain fungi. In this study, chitosan powder was degraded by gamma irradiation in the range of 10 to 100 kGy in order to obtain an appropriate molecular size. Gamma irradiation of chitosan in the solid state is easy, convenient and fast, and does not alter the molecular structure of chitosan. Irradiated chitosan was subsequently dissolved in 2 % (v/v) acetic acid to obtain 1 % (wt/v) final concentration. The pH of the solution was then adjusted to 5.6 using 6 N NaOH. The final product was applied to coat hen eggs by dipping each egg in the solution for 5 seconds. Coatings of 1, 2 and 3 layers were studied. Egg quality stored at room temperature ($30\ ^{\circ}C$) for 0 to 8 weeks in terms of pH of albumin, weight loss, haugh unit, separation of albumin and yolk, and weights of albumin and yolk of was evaluated. Results indicated that chitosan irradiated at 10 kGy with the molecular weight of 492 kDa was most suitable to coat hen eggs, as the shelf life of chitosan-coated eggs increased to 6 weeks compared with only 2 weeks for uncoated eggs. This technique can be applied to other kinds of eggs as well as scaling-up for commercial applications in egg processing industry.

Department : Nuclear Engineering Student's Signature .....
Field of Study : Nuclear Technology Advisor's Signature .....
Academic Year : 2011 .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ และรองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ ผู้เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ทุนโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้เงินสนับสนุนงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่ คุณบัญชา ยาเสร็จ และ คุณทองใบ ยาเสร็จ ที่ให้กำลังใจตลอดการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณนิภาวรรณ ปรมาธิกุล คุณจตุพล แสงสุริยัน และ คุณวิราณี ศรีเวียง ผู้ซึ่งเป็นผู้บังคับบัญชาที่ให้โอกาสไปศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง…… ญ

สารบัญภาพ…… ฏ

บทที่ 1. บทนำ…… 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย…… 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย…… 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย…… 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย…… 3

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 4

บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง…….. 9

2.1 ไคโตซาน…… 9

2.2 ไข่ไก่…… 11

2.2.1 เปลือกไข่…….. 13

2.2.2 ไข่ขาว……... 13

2.2.3 ไข่แดง …….. 13

2.2.4 ช่องอากาศ…… 14

2.2.5 จุดเลือดหรือจุดเนื้อ…….. 14

2.2.6 สีของไข่…… 14

2.2.7 ความสด……... 14

2.3 คุณค่าทางโภชนาการของไข่ไก่……... 16

2.4 สิ่งที่เปลี่ยนไปเมื่อเก็บไข่ไว้นาน…….. 19

บทที่ หน้า

2.5 การเก็บรักษาไข่..... 20
2.6 ผลของการฉายรังสีต่อพอลิเมอร์..... 21
2.6.1 cross-linking..... 21
2.6.2 การต่อกิ่ง (grafting)..... 21
2.6.3 การตัดทอนโมเลกุล (Degradation) 22
2.7 เทคนิควิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล..... 24
2.7.1 Gel Permeation Chromatography..... 24
2.8 เทคนิควิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล..... 24
2.8.1 UV-Visible Spectrophotometer..... 24
2.8.2 Fourier Transform Infrared Spectrometer..... 25
บทที่ 3. วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 26
3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์..... 26
3.2 รายการสารเคมี..... 27
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 27
3.3.1 การเตรียมไคโตซานเพื่อนำไปฉายรังสี..... 27
3.3.2 ตรวจสอบคุณลักษณะของไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสี..... 27
3.3.3 วัดค่าการดูดกลืนแสง..... 27
3.3.4 หาน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน..... 28
3.3.5 การเตรียมสารละลายไตโตซานและการเคลือบไข่ไก่..... 28
3.3.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานเทียบกับไข่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน..... 28
3.3.6.1 ลักษณะภายนอก (น้ำหนักฟองไข่)..... 28
3.3.6.2 ลักษณะภายในฟอง..... 29
บทที่ 4. ผลของการวิจัย..... 30
4.1 คุณลักษณะของไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสี..... 30
4.2 น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน..... 31
4.3 ผล UV-vis spectroscopy 32
4.4 ผลของการเคลือบไคโตซานกับร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส..... 33

บทที่ **หน้า**

4.5 ผลของการเคลือบไคโตซานกับค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส..... 38
4.6 ผลของการเคลือบไคโตซานต่อค่า pH ของ albumin ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส..... 42
4.7 ผลการแยกกันของไข่ขาวและไข่แดง น้ำหนักของไข่ขาวและไข่แดง..... 47
บทที่ 5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะสรุปผลการวิจัย..... 50
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 50
5.1.1 ผลการฉายรังสีต่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน..... 50
5.1.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลกับการเคลือบไข่ไก่..... 50
5.1.3 การสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่..... 50
5.1.4 ค่าความสดของไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน..... 50
5.1.5 pH ของไข่ขาว..... 51
5.2 อภิปรายผลการวิจัย..... 51
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 52

รายการอ้างอิง..... 53
ภาคผนวก..... 55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 60

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	น้ำหนักไข่มาตรฐานที่กำหนดใช้ในประเทศไทย……	15
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของไข่……..	15
2.3	สารอาหารในไข่ขนาดใหญ่ 1 ฟอง……	17
2.4	อัตราการบริโภคไข่ (หน่วย: ฟอง/คน/ปี) ปี 2549……	18
4.1	ค่าการดูดกลืนแสงของไคโตซาน……..	33
4.2	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโคซาน และไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy)……..	34
4.3	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy ตามระยะเวลาการเก็บรักษา……	35
4.4	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy ตามระยะเวลาการเก็บรักษา……	36
4.5	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy ตามระยะเวลาการเก็บรักษา……	37
4.6	ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน และไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy)…….……	38
4.7	ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy ตามระยะเวลาการเก็บรักษา……	39
4.8	ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy ตาม	

ระยะเวลาการเก็บรักษา..... 40
4.9 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสที่เคลือบด้วยไคโตซาน ที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy ตาม ระยะเวลาการเก็บรักษา..... 41
4.10 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน และไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสี ที่ 10 kGy) 43
4.11 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่ เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy 44
4.12 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่ เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy 45
4.13 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่ เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy 46

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน……	9
2.2	โครงสร้างไข่ทั้งฟอง……	12
2.3	การใช้รังสีแกมมาในการ cross linking, degradation and grafting……	22
3.1	ชั่งน้ำหนักไข่ไก่ก่อนและหลังเคลือบด้วยไคโตซาน……	29
4.1	สเปกตรัม FTIR ของไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี (0 kGy) และไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ……....	30
4.2	ผงไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี (0 kGy) และผงไคโตซานฉายรังสีที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ100 กิโลเกรย์……	31
4.3	สารละลายไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี (0 kGy) และสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์……	31
4.4	การลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของผงไคโตซานจากการฉายรังสีแกมมาที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ที่ 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง……	32
4.5	สเปกตรัม UV ของไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี (0 kGy) และไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ที่ 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง…….	33
4.6	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ (weight loss) เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับ (a) ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโคซาน (b) ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy) ……	34
4.7	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy ……	35
4.8	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy ……	36
4.9	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดย	

ไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy 37
4.10 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับ (ก) ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน (ข) ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy) 39
4.11 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะ เวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy 40
4.12 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะ เวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy 41
4.13 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะ เวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy..... 42
4.14 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับ (ก) ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน (ข) ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy) 43
4.15 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy 44
4.16 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy 45
4.17 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy 46
4.18 การแยกกันของไข่ขาวกับไข่แดงที่ 4 สัปดาห์สำหรับ (ก) แยกไข่ด้วยกระชอน (ข) ไข่ขาว ไข่แดงที่แยกออกจากกัน..... 47
4.19 การแยกกันของไข่ขาวกับไข่แดงที่ 5 สัปดาห์สำหรับ (ก) ลักษณะไข่เมื่อตอก (ข) ไข่ขาวไข่แดงที่แยกออกจากกัน..... 47

4.20 ลักษณะของไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานและไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 10 กิโลเกรย์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ที่ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์..... 48
4.21 ลักษณะของไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 สัปดาห์..... 49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไข่ไก่เป็นอาหารชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ซึ่งไข่ที่มีคุณภาพดีย่อมเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตามหลังจากที่ไข่ไก่ออกจากแม่ไก่แล้ว คุณภาพของไข่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่สามารถสังเกตได้จากองค์ประกอบของไข่ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการเก็บรักษา เช่น ไข่แดงขยายตัวใหญ่ขึ้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำในไข่ขาวซึ่งมีปริมาณน้ำมากกว่าไปยังไข่แดงที่มีปริมาณน้ำน้อยกว่าทำให้เยื่อหุ้มไข่แดงฉีกขาดออก ไข่ขาวกับไข่แดงแยกออกจากกันได้ยาก ไข่แดงมีลักษณะแบนราบกว่าปกติ ไข่ขาวเปลี่ยนจากลักษณะข้นกลายเป็นเหลวเนื่องจากเอนไซม์ในไข่ขาวย่อยโปรตีนให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลง ไข่ขาวมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เสียไปทางรูเปลือกไข่ทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ดีขึ้น ไข่จึงเกิดการเน่าเสียได้ง่ายเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งปัจจุบันนิยมเก็บไว้ในตู้เย็นเพราะทำให้เก็บได้นาน

ไคโตซาน คือ สารพอลิเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน ซึ่งเป็นโครงสร้างของเปลือกกุ้ง กระดองปู แกนปลาหมึก และผนังเซลล์ของเห็ดราบางชนิด ไคติน-ไคโตซาน จัดเป็นโคพอลิเมอร์ที่อยู่ร่วมกันในธรรมชาติ มีสมบัติพื้นฐานที่เข้ากับธรรมชาติได้ดี ย่อยสลายง่าย ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มีหมู่อะมิโนที่แสดงสมบัติพิเศษหลายประการที่ต่างจากเซลลูโลส เช่น การละลายได้ในกรดอินทรีย์เจือจาง การจับกับอิออนของโลหะได้ดี และการมีฤทธิ์ทางชีวภาพ

ปัจจุบันมีการนำสารไคติน-ไคโตซาน มาประยุกต์ใช้จริงทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม ทางการแพทย์และเภสัชกรรม เช่น สารตกตะกอนในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมเส้นใยสิ่งทอเพื่อป้องกันแบคทีเรียและเชื้อรา ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อคุณสมบัติในการลดไขมันและคอเลสเตอรอล สารเร่งการเจริญเติบโตในพืชและสัตว์ต่าง ๆ เช่น สุกร

กุ้ง เป็ด ไก่ สารเคลือบผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา สารถนอมอาหาร และแผ่นฟิล์มปิดแผล ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2546: 68)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นการพัฒนาการใช้ไคโตซานเพื่อช่วยในการเก็บรักษาไข่ไก่ที่อุณหภูมิห้องให้สามารถเก็บได้นานขึ้นโดยการเคลือบด้วยไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสม ที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมาที่ความแรงรังสีต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้บริโภคมีไข่ไก่ไว้รับประทานได้นานๆ โดยไม่ต้องแช่ตู้เย็น

1.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่โดยการเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมได้จากการฉายรังสีแกมมา

1.3 **ขอบเขตของวิทยานิพนธ์**

1.3.1 เตรียมไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลต่างๆโดยการฉายรังสีแกมมาในช่วง 10-100 kGy

1.3.2 นำไคโตซานที่ได้แต่ละขนาดมาเคลือบบนเปลือกไข่ไก่ใหม่ด้วยการฉีดพ่น (spray) หรือวิธีการอื่นที่เหมาะสม

1.3.3 ดูการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลและระยะเวลาในการเก็บรักษา

1.4 **ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย**

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี ข้อมูลและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เตรียมวัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

1.4.3 ฉายรังสีแกมมาไคโตซานที่ความแรงรังสีต่างๆ และหาขนาดโมเลกุลของไคโตซาน

- ฉายรังสีแกมมาในช่วง 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ อัตราความแรงรังสี 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง
- หาน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานด้วยเครื่อง Gel Permeation Chromatography (GPC)

1.4.4 นำไคโตซานที่ทราบน้ำหนักโมเลกุลแต่ละขนาดมาทดลองเคลือบบนเปลือกไข่ไก่ที่ความหนาต่างๆ

- เปรียบเทียบชั้นความหนาของไคโตซาน ความหนาหนึ่งชั้น สองชั้น และสามชั้น ตามลำดับ

1.4.5 เก็บไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานไว้ที่อุณหภูมิห้อง ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไข่ไก่

- น้ำหนักของไข่ไก่
- ความสูงของไข่ขาว
- น้ำหนักของไข่ขาว ไข่แดง
- การแยกกันของไข่ขาวกับไข่แดง
- pH ของ albumin
- ค่าความสดของไข่ไก่ (Haugh unit, HU)

1.4.6 วิเคราะห์ สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

ได้ไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมในการเคลือบไข่ไก่เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานขึ้น

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. **ชนิตา เรืองผัน** (2549) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **การหาน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมของไคโตซานในการเร่งการเจริญเติบโตของพืช โดยวิธีฉายรังสีแกมมาร่วมกับวิธีทางเคมี** เพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานที่เหมาะสมในการเร่งการเจริญเติบโตของพืช โดยไคโตซานโมเลกุลเล็กซึ่งเตรียมโดยการย่อยสลายด้วยรังสีแกมมา ร่วมกับการแยกโมเลกุลลำดับส่วนโดยวิธีทางเคมี เมื่อนำผงไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมา 100 กิโลเกรย์มาทำให้อยู่ในรูปของสารละลายไคโตซาน 10% ในสารละลายกรดอะซิติก 2.5% แล้วนำไปฉายรังสีอีกครั้งที่ 20, 40, 60, 70 และ 80 กิโลเกรย์ จะได้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Mw) 68000, 26000, 12000, 8000 และ 4000 ดอลตัน ตามลำดับ ทำการแยกโมเลกุลลำดับส่วนของสารละลายไคโตซาน 10% ที่ได้จากการฉายรังสีต่อที่ 40 กิโลเกรย์โดยสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอนแยกลำดับส่วนคือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.75% เพื่อแยกโมเลกุลให้อยู่ในช่วง 20000 ดอลตัน จากการนำไคโตซานที่มี Mw 20000, 12000, 8000 และ 4000 ดอลตันมาผสมในสารละลายปุ๋ยในปริมาณ 200 ppm ทดสอบการเจริญเติบโตของคะน้า ผักกาดหอมและผักโขม เปรียบเทียบการเจริญเติบโต (ความสูงเฉลี่ย) กับสารละลายปุ๋ยอย่างเดียวพบว่า ในช่วงระยะการปลูก 26 วันของการเจริญเติบโตหลังเพาะเมล็ด คะน้าที่ปลูกในสารละลายไคโตซานที่มี Mw 8000 และ 4000 ดอลตันมีการเจริญเติบโต (ความสูง) มากที่สุด ผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายไคโตซาน Mw 20000 ดอลตันมีการเจริญเติบโตมากที่สุด และในผักโขมที่ปลูกในสารละลายไคโตซานที่มี Mw 12000 และ 8000 ดอลตันมีการเจริญเติบโตมากที่สุด

2. **ธนาภรณ์ ศรีศิริพันธุ์** (2551) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **ผลการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการเก็บรักษาผลพริกหวาน (*Capsicum annuum L.*)** โดยนำผลแก่จัดของพริกหวานสองพันธุ์ คือ พันธุ์ Torcal และพันธุ์ Gold Frame มาเคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5% เปรียบเทียบกับชุดไม่เคลือบผิว แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82% เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 1.0% และ 1.5% มีประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียน้ำหนัก การเหี่ยว และการเข้าทำลายของเชื้อรา เมื่อ

เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่เคลือบผิวและชุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 0.5% ทั้งนี้ชุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 1.0% และ 1.5% ในผลพริกหวานทั้งสองพันธุ์ ให้ผลไม่แตกต่างกันในการลดการสูญเสียน้ำหนัก การเหี่ยว และการเข้าทำลายของเชื้อรา อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลในทุกชุดการทดลองในระหว่างการเก็บรักษา

3. **นิรมล สันติภาพวิวัฒนา และ เนตรา สมบูรณ์แก้ว** (2550) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **<u>ผลของสารเคลือบผิวไคโตซานต่อคุณภาพสับปะรดพันธุ์ภูแล</u>** สับปะรดพันธุ์ภูแลเป็นผลไม้พื้นเมืองของจังหวัดเชียงราย ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีลักษณะผลเล็กเนื้อมีสีเหลืองเข้ม กรอบ รสชาติหวานหอม แต่การขยายตลาดไปยังต่างประเทศยังประสบปัญหา เนื่องจากมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางยืดอายุการเก็บรักษาสับปะรดพันธ์ภูแลด้วยสารเคลือบผิวด้วยไคโตซานชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาด ต่ำ ปานกลางและสูง ผลการทดลองพบว่าไคโตซานชนิดที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่ำและสูง สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของร้อยละการสูญ เสียน้ำหนัก และอัตราการหายใจ ในขณะเดียวมีแนวโน้มในการรักษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวด้วยไคโตซานชนิดที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีแนวโน้มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าชุดการทดลองอื่น

4. **วรรณวิมล ปาสาณพันธ์ รังรอง ยกส้าน และสุวบุญ จิรชาญชัย** (2546) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **<u>การลดมวลโมเลกุลของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมา</u>** ไคโตซานถูกฉายด้วยรังสีแกมมาในระดับปริมาณต่าง ๆ จนถึง 160 กิโลเกรย์ในสภาวะที่ง่ายทั้งที่มีและไม่มีตัวเริ่มแรดิคัล มวลโมเลกุลของไคโตซานลดลงจาก 6.7×10^5 - 1.2×10^6 เป็น 1.0×10^5 ดาลตันโดยที่โครงสร้างหลักยังคงเดิมเมื่อให้ปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ สำหรับสภาวะของเกร็ดไคโตซานในรูปของแข็งและเกร็ดไคโตซานที่กระจายตัวในน้ำ การลดลงของมวลโมเลกุลในระดับเดียวกันนี้สามารถทำได้โดยใช้ปริมาณรังสีเพียง 20 กิโลเกรย์ เมื่อมีตัวริเริ่มปฏิกิริยาแรดิคัล (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) ในระบบ ความว่องไวต่อปฏิกิริยาของไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีเพิ่มขึ้น 50-60% ซึ่งดูได้จากปฏิกิริยาการต่อเข้ากับคาร์บอนิลไดอิมิดาโซลายด์ ในกรณีของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติกพบว่าโครงสร้างของ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉายรังสีมีการเปลี่ยนแปลง ตามที่ตรวจสอบจากเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เทคนิคเทอโมกราวิเมทรีอะนาไลซิส และเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น

5. **ภาณุวัฒน์ สรรพกุล** ได้ทำการวิจัยเรื่อง **การพัฒนาสารเคลือบผิวไข่ไก่จากสารประกอบโพลีแซคคาไรด์จากพืช เพื่อรักษาคุณภาพความสดของไข่ไก่สด** จากการทดสอบสารเคลือบผิวไข่ไก่สดจากสารธรรมชาติดังกล่าวจะยืดอายุไข่ไก่ในอุณหภูมิห้องได้ นานกว่า 1 เดือนถึง 1 เดือนครึ่ง และลดการสูญเสียความชื้นตลอดจนน้ำหนักของไข่ได้ถึง 50% โดยไข่ไก่ยังสดและอยู่ในสภาพเกรดเอ หรือราคาดีที่สุด อีกทั้ง สารเคลือบผิวจากธรรมชาติดังกล่าวยังมีความหลากหลายมาก ซึ่งพบแล้วอย่างน้อย 3 ชนิด ที่มีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย ขณะเดียวกันยังลดการนำเข้าสารเคลือบผิวไข่ไก่จากต่างประเทศ ซึ่งเก็บไข่ไก่ให้สดได้เพียง 10 -12 วันเท่านั้น

6. **อัธยา กังสุวรรณ** (2009) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **ประโยชน์จากเปลือกสัตว์น้ำผลิต ไคโตซานพ่นเคลือบคงความสดผลไม้** ทดลองใช้ไคโตซานฉีดพ่นเคลือบผิว มังคุด ปรากฏว่าไคโตซานทำปฏิกิริยาปกป้องและรักษาสีสันเปลือกมังคุดไว้ได้นานประมาณ 1 เดือน โดยมังคุดเปลือกแข็งเพียงร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับมังคุดที่ไม่ได้ฉีดพ่นเคลือบไคโตซาน มีการแข็งตัวของเปลือกสูงถึง 22% (ในตู้เย็น) และถึง 90% ในอุณหภูมิห้อง ส่วนผลมังคุดที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน ซีดจาง กลีบเลี้ยงสีซีด เหี่ยวเฉา กลายเป็นลักษณะ ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นและฮ่องกง ถือว่าเป็นตลาดส่งออกขนาดใหญ่ จะยึดหลักสีสันลักษณะภายนอก ในการตัดสินใจซื้อมังคุดของไทย เมื่อทดลองผ่าผลมังคุดชิมเนื้อด้านในดู ปรากฏว่ายังมีรสชาติอร่อยไม่เน่าเสียก่อน 30 วัน ตรงกันข้ามผลมังคุด ที่ไม่ได้ฉีดพ่นเคลือบไคโตซาน ซึ่งเน่าเสียอย่างเห็นได้ชัดเจน

7. BHALE, S. et. al (2003) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **การใช้ไคโตซานเคลือบผิวเพื่อปรับปรุงการเก็บรักษาไข่** โดยใช้ไคโตซานโมเลกุลเล็ก (LMw, 470 KDa) โมเลกุลปานกลาง (MMw, 746 KDa) และโมเลกุลใหญ่ (HMw, 1100 KDa) เคลือบไข่และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าการเคลือบด้วยไคโตซานโมเลกุลขนาดเล็กสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าการเคลือบด้วยโมเลกุลขนาดกลาง และโมเลกุลใหญ่ขนาดใหญ่ ค่าความสดของไข่

และดัชนีไข่แดงชี้ให้เห็นว่าไคโตซานสามารถช่วยทำให้ไข่เก็บได้นานถึง 5 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าไข่ที่ไม่ได้เคลือบซึ่งเก็บได้นาน 3 สัปดาห์ และคุณภาพภายนอกของไข่ไม่แตกต่างกัน

8. Chien, P.J. Sheu, F. and Lin, H.R. (2007) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **ผลของขนาดน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน** *LMWC, Mw=15KDa และ*HMWC, Mw=357KDa **ในการเคลือบผิวผลส้ม** (Murcott tangor) พบว่า ขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีผลในการชะลอการสุก การสูญเสียน้ำและการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวได้

9. Du, J. Gemma, H. and Iwahori, S. (1997) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **ผลของการใช้สารเคลือบผิวไคโตซานต่ออายุการเก็บรักษาของพีช ลูกแพรญี่ปุ่น และผลกีวี** พบว่ามีผลต่อการลดลงของอัตราการหายใจ การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการลดลงของก๊าซออกซิเจนภายในผล จากผลการทดลองพบว่าสารเคลือบผิวไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดต่างกันมีผลต่อคุณภาพ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติ ความหนืดของสารเคลือบผิว (viscosity) ที่แตกต่างกัน โดยคุณสมบัติการควบคุมการแพร่ผ่านของฟิล์มจะลดลงเมื่อคุณสมบัติความหนืดเพิ่มขึ้น

10. Jiang, Y. Li, J and Jiang, W (2005) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **ผลของการใช้ไคโตซานเคลือบผิวต่ออายุการเก็บรักษาลิ้นจี่ที่แช่เย็นและที่อุณหภูมิห้อง** ลิ้นจี่หลังการเก็บเกี่ยวจะเกิดสีน้ำตาลทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นและทำให้คุณภาพลดลง เมื่อนำลิ้นจี่ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ได้เพียง 6 ชั่วโมงเท่านั้น ก็จะเกิดสีน้ำตาล จึงได้มีการทดลองใช้ไคโตซานเคลือบเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลบนผิวของลิ้นจี่และสามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องได้ โดยเคลือบด้วย 2 กรัมไคโตซาน/100กรัม สารละลาย และเก็บที่ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วันที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% หลังจากนั้นนำมาไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90% แล้วดูการเปลี่ยนแปลงใน polyphenol oxidase (PPO) ความเข้มข้นของ anthocyanin สี และรสชาด ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ และกรดที่ไตเตรตได้ ซึ่งพบว่า polyphenol oxidase (PPO) สี รสชาด เพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของ anthocyanin ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ และกรดที่ไตเตรตได้ลดลง สรุปคือไคโตซานสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาลิ้นจี่ที่อุณหภูมิห้องให้ได้นานขึ้น

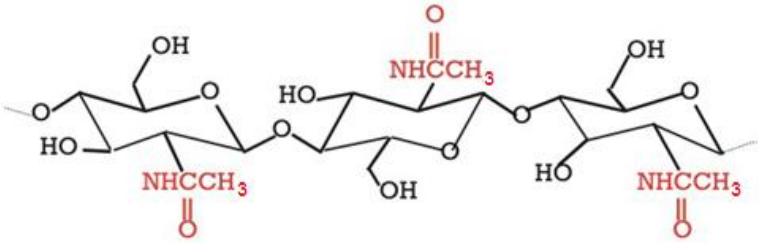
11. Samli, H.E., Agma, A. and Senkoylu N. (2005) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาและอุณหภูมิที่มีต่อคุณภาพของไข่ในไข่ไก่เก่า** จากการทดลองนำไข่ที่ได้จากแม่ไก่ขาวที่มีอายุมากกว่า 50 สัปดาห์ แล้วเก็บไว้ 2, 5 และ 10 วัน ที่อุณหภูมิ 5 21 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าที่ 10 วัน มีค่าความสดของไข่เป็น 76.3, 53.7 และ 40.6 ที่อุณหภูมิ 5, 21 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ช่องอากาศที่อยู่ระหว่างเปลือกไข่กับเยื่อหุ้มไข่ มีขนาด 4 มิลลิเมตร พร้อมกับ pH ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเก็บไว้ 2 วันที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ส่วนไข่ที่เก็บไว้ 5 วันที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียสค่า pH ได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 7.47 ถึง 9.2 สรุปได้ว่าระยะเวลาการเก็บและอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของไข่ ทั้งการสูญเสียน้ำหนัก ขนาดของช่องอากาศ ค่าความสดของไข่ pH และ ความสูงของไข่ขาว

12. Xian De Liu et.al. (2009) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **ผลของการใช้ไคโตซานในการเคลือบเปลือกไข่กับการฉายรังสีแกมมาต่อการเก็บรักษาไข่ไก่ที่อุณหภูมิห้อง** พบว่าเมื่อเคลือบไข่ที่อายุ 0 วันด้วยไคโตซาน 1% pH 5.0 และฉายรังสี 2.0 kGy หลังจากเก็บไว้ 3วัน พบว่าตรวจไม่เจอเชื้อ *salmonella typhimurium* จากนั้นนำไข่ที่มีอายุ 1 วันมาเคลือบไคโตซานและฉายรังสี อย่างละครึ่ง โดยฉายที่ 0, 0.5, 1.0 ,1.5 และ 2.0 kGyแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 14 วัน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไข่ พบว่า haugh unit ลดลงเมื่อฉายรังสีที่ 0.5 kGy และ level of lipid oxidation ในไข่แดงเพิ่มขึ้น เมื่อฉายรังสี 2.0 kGy แต่ไข่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน level of lipid oxidation จะลดลง การฉายรังสีทำให้เกิด foaming ability ในไข่ขาวเพิ่มขึ้นและทำให้ความหนืดของไข่ขาวและไข่แดงลดลง จากการทดลองสรุปได้ว่าการใช้ไคโตซานเคลือบไข่สามารถเก็บรักษาความสดของไข่ไก่ให้ยาวนานขึ้น โดยคุณภาพของไข่ไม่เปลี่ยนแปลง และส่งผลให้เปลือกไข่มีความแข็งแรงขึ้น ป้องกันการแตกและสะดวกต่อการขนส่ง

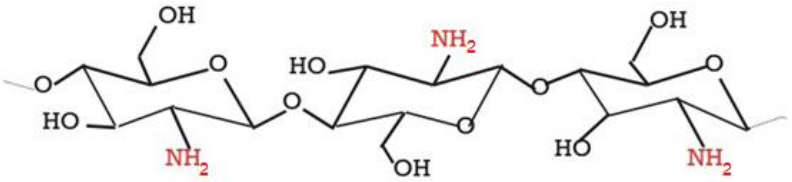
บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซาน (Chitosan) เป็นไบโอพอลิเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญในรูปของ D – glucosamine พบได้ในธรรมชาติ โดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์พวก กุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา เป็นสารธรรมชาติที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ เป็นวัสดุชีวภาพ (Biometerial) สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไม่เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดการแพ้ ไม่ไวไฟและไม่เป็นพิษ (non – phytotoxic) ต่อพืช



ไคติน



ไคโตซาน

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

ไคโตซานเป็นสารที่สกัดมาจากเปลือกกุ้ง หรือแกนปลาหมึก ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า poly-ß(1,4)-2-deoxy-D-glucose เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภท macromolecule linear polymer polysaccharide ต่อกันด้วยพันธะ 1,4-ß-glycoside น้ำหนักโมเลกุลสูง ไม่ละลายน้ำ แต่มีสมบัติเป็น

cationic polyelectrolyte เนื่องจากมีหมู่ -NH_2 ที่ตำแหน่งคาร์บอนตำแหน่งที่สองทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์ต่างๆ กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง กรดไนตริกเจือจาง และประจุบวก (NH_4+) บนโครงสร้างไคโตซาน สามารถเกิดการ interact กับประจุลบของสารประกอบอินทรีย์ เช่น protein, anionic polysaccharide, nucleic acid ทำให้ได้ประจุไฟฟ้าที่เป็นกลาง นอกจากนี้ยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะหนักได้โดยใช้ หมู่ NH_2 ในการเกิด chelate metal ion พวก copper, magnesium และสามารถจับกับโลหะได้หลายชนิด เช่น chromium, silver, cadmium เนื่องจากมีประจุบนสายโมเลกุล จึงสามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติโดยไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังพบว่าไคโตซานเป็นตัวเหนี่ยวนำให้สร้างเอนไซม์ chitinase และ ß-1,3 glucanase ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองนี้สามารถเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของไคติน (chitin) และ กลูแคน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เชื้อราส่วนใหญ่เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคในพืชได้ จากการศึกษาโดยใช้ไคโตซานเคลือบผิวผลไม้ชนิดต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา พบว่า ไคโตซานมีผลทำให้ผลไม้สดสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น ตัวอย่างเช่น Dien และ Binh (1996) พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมของไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบผิวส้มสด คือ 1.6% และ 1.8% ใน 2% กรดอะซิติก โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 35-40 วัน ในกรณีของการเก็บรักษากล้วย Lan และคณะ (2001) พบว่า เมื่อนำกล้วยจุ่มลงในสารละลาย 1.5% ไคโตซาน ซึ่งเตรียมจากไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีที่ 25 kGy แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง กล้วยจะเริ่มสุกตามธรรมชาติหลังจากเก็บไว้นานถึง 20 วัน นอกจากนี้ วิษณุ และคณะ (2546) ยังพบว่า การใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% และ 1.3% สามารถชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าการเคลือบผลิตผลด้วยไคโตซาน ยังช่วยคงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิตทั้งในด้านของความแน่นของเนื้อผลไม้ กลิ่นรส สี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากไคโตซานที่เคลือบจะมีลักษณะเป็น semipermeable films จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับ ก๊าซ O_2, CO_2 และ ethylene ภายในผลิตผล ส่งผลให้กระบวนการ metabolic activity เกิดขึ้นช้าลง จึงไปชะลอให้ขบวนการสุกเกิดขึ้นช้าลงด้วย ซึ่งประสิทธิภาพในการควบคุมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ ความเข้มข้นของไคโตซานที่ใช้ และอายุทางสรีระวิทยาของผลไม้

จากประโยชน์ดังกล่าวหากนำไคโตซาน ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่ผลิตจากธรรมชาติมาใช้ นอกจากจะช่วยลดการสูญเสียและการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวได้แล้ว ยังไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเกษตรอย่างยั่งยืน

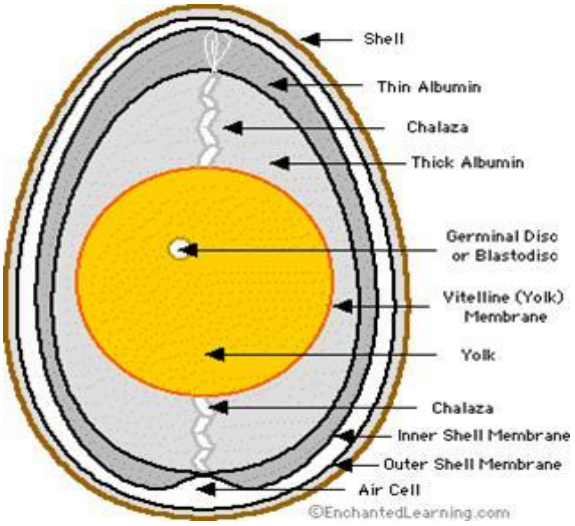
คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของไคโตซานคือการต่อต้านจุลินทรีย์โดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียง ซึ่งพบว่า กลไกดังกล่าวคือ ประจุบวกบนโมเลกุลของไคโตซานทำปฏิกริยากับประจุลบบนผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดการแตกและรั่วของสารโปรตีนและสารอื่นๆ ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ อีกทั้งเกิดการจับตัวกับโมเลกุลของน้ำได้ดีซึ่งทำให้เกิดการขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์หลายชนิดในจุลินทรีย์ และการซึมของไคโตซานโมเลกุลเล็ก (Oligomer) เข้าสู่ในนิวเคลียสของเซลล์จุลินทรีย์ พบว่าการจับตัวของไคโตซานกับ DNA ทำให้เกิดกระบวนการยับยั้งการสังเคราะห์ mRNA ซึ่งขัดขวางการสังเคราะห์โปรตีนตามมาในเซลล์ของจุลินทรีย์ (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2544: 48) ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนไคตินและไคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติม ในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกัดบูด สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้นหนืด ใช้เป็นสาร เคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) สำหรับบรรจุอาหาร

2.2 **ไข่ไก่** (Hen eggs)

ไข่ไก่ จัดเป็นอาหารโปรตีนกลุ่มเดียวกับเนื้อสัตว์ ทั้งยังมีกรดอะมิโนครบทุกชนิดตามที่ร่างกายต้องการในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีเกลือแร่ต่างๆ ที่สำคัญต่อร่างกาย อาทิ เหล็ก วิตามินดี และบี 2 จึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เรียกได้ว่าเป็นอาหารที่มีคุณค่าอาหารครบหมู่มากที่สุดด้วย เนื่องจากไข่ไก่มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์หลายชนิด เช่น สารต่อต้านอนุมูลอิสระ วิตามินบี และไขมันไม่อิ่มตัว ช่วยลดผลกระทบเรื่องคอเลสเตอรอลในไข่แดงให้น้อยลง และที่สำคัญไข่ไก่มี “โคลีน” ในระดับสูง ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาเซลล์สมอง โคลีน เป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการสร้างเซลล์สมองตั้งแต่ยังเป็นทารกในครรภ์มารดาไปจนถึงวัยสูงอายุ และยังทำหน้าที่เป็นสารสื่อนำประสาท ช่วยให้การทำงานของสมองเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ลดการเสื่อมของเซลล์สมอง ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer) ยิ่งไปกว่านั้นมีงานวิจัยหลายชิ้นได้แสดงให้เห็นว่า โคลีนมีผลต่อประสิทธิภาพ

ความจำ และความสามารถในการเรียนรู้ของมนุษย์และสัตว์หลายชนิดรวมทั้งยังช่วยชะลอการสูญเสียความทรงจำในผู้สูงอายุได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่มีโคลีนในร่างกายต่ำ ทำให้เกิดอาการซึมเศร้า จิตใจหดหู่ ไม่มีสมาธิ และความดันโลหิตบกพร่อง โคลีนจึงเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสมองของคนเรา ตั้งแต่ยังเป็นทารกในครรภ์

ปัจจุบันผู้เชี่ยวชาญด้านสารอาหารได้กำหนดให้โคลีนเป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นสำหรับคนทุกวัย ซึ่งแม้ว่าร่างกายคนเราจะสามารถผลิตโคลีนได้ แต่ก็มีปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องได้รับเพิ่มจากการรับประทานอาหาร โดยผลการวิจัยพบว่า ไข่แดงของไข่ไก่เป็นอาหารที่ให้โคลีนมากที่สุดชนิดหนึ่ง ดังนั้นการจำกัดการบริโภคไข่ไก่อาจเป็นอันตรายในระยะยาวต่อสุขภาพของสมองได้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างไข่ทั้งฟอง

ไข่ไก่ 1 ฟอง มีน้ำหนักประมาณ 50-60 กรัม มีส่วนประกอบสำคัญ คือ เปลือกไข่ ไข่ขาว และไข่แดง ในอัตราส่วนร้อยละ 11:62:27

2.2.1 **เปลือกไข่** มีน้ำหนักประมาณ 6 กรัม มีส่วนประกอบหลักคือ สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นรูพรุน มีรูเล็ก ๆ มากกว่า 17,000 รู เปลือกไข่ภายนอกมีเมือกเคลือบเพื่อป้องกันแบคทีเรียจากภายนอกเข้าไม่ให้เข้าไปในไข่ได้ ก่อนถึงตัวไข่มีเยื่อบางๆ แต่เหนียวกั้นอยู่อีกชั้นหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเวลาต้มไข่

2.2.2 **ไข่ขาว** มีโปรตีนเป็นสารอาหารหลัก เมื่อตอกไข่จะเห็นไข่ขาวแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเหลว อีกส่วนข้นติดอยู่กับไข่แดงและมีปริมาณมากกว่าส่วนเหลวประมาณ 4 เท่า ไข่ขาวในไข่ 1 ฟอง จะมีน้ำหนักประมาณ 30-35 กรัม ขึ้นอยู่กับขนาดของไข่ ไข่ขาวมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก (ร้อยละ 88) มีโปรตีนประมาณร้อยละ 10 โปรตีนในไข่ขาวมีหลายชนิด ได้แก่

- คอนนัลบูมิน (conalbumin) เป็นโปรตีนที่จับกับแร่ธาตุต่างๆ ที่สำคัญคือแร่ธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นกลไกการป้องกันตัวอ่อนจากการติดเชื้อ แต่กลไกนี้มีบทบาทสำคัญทางด้านโภชนาการ เนื่องจากทำให้ร่างกายคนเรานำเหล็กจากไข่มาใช้ไม่ได้ดี
- โอวัลบูมิน (ovalbumin) เป็นกลุ่มโปรตีนที่จับกับฟอสฟอรัส คาร์โบไฮเดรต และซัลเฟอร์ ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และมีการเปลี่ยนแปลงสี
- อะวิดิน (avidin) เป็นโปรตีนที่มีปริมาณเล็กน้อยในไข่ขาว แต่มีบทบาทสำคัญทางด้านโภชนาการอีกตัวหนึ่ง ในไข่ขาวดิบอะวิดินสามารถจับกับวิตามินไบโอติน ซึ่งเป็นวิตามินที่จำเป็นในการทำงานของเอนไซม์ในร่างกาย ผู้ที่กินไข่ขาวดิบจึงมีโอกาสขาดวิตามินไบโอตินได้
- ไลโซไซม์ (lysozyme) เป็นโปรตีนในไข่ขาวที่ช่วยทำลายเชื้อแบคทีเรีย ช่วยป้องกันตัวอ่อน

2.2.3 **ไข่แดง** ส่วนของไข่แดงจะแยกออกจากไข่ขาวโดยมีเยื่อหุ้มไข่แดง และมีเส้นยึดไข่แดงให้ลอยอยู่ตรงกลางของไข่ขาว ซึ่งเป็นส่วนของไข่ขาวเช่นเดียวกัน ไข่แดงมีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 52 โปรตีนร้อยละ 14.3 ไขมันร้อยละ 30 มีส่วนของแร่ธาตุโปแตสเซียม สังกะสี และทองแดงมากกว่าไข่ขาว มีวิตามินเอและวิตามินบี 2 สูง ไขมันในไข่ประกอบด้วย ไลโปรโปรตีน ไตรกลีเซอไรด์ โคเลสเตอรอล และเลซิติน ไข่ 1 ฟองมีไข่แดงประมาณ 13-20 กรัม

2.2.4 **ช่องอากาศ** (Air Cell) คือพื้นที่ว่างระหว่างไข่ขาวกับเปลือก ซึ่งปรากฏอยู่ที่ส่วนด้านป้านของไข่ เมื่อแม่ไก่ออกไข่มาใหม่ๆ ไข่จะมีความร้อน เมื่อเย็นลงจึงทำให้เกิดช่องอากาศขึ้น ช่องอากาศนี้จะเป็นตัวบ่งบอกอายุไข่ เพราะเมื่อไข่มีอายุมากขึ้น ความชื้นและ คาร์บอนไดออกไซด์จะระเหยออกตามรูพรุนของเปลือกไข่ ทำให้มีอากาศเข้าไปแทนที่ ทำให้ช่องอากาศกว้างขึ้น

2.2.5 **จุดเลือด หรือจุดเนื้อ** (Blood Spots) บางครั้งก็สามารถพบได้ในไข่แดง คนส่วนใหญ่เข้าใจผิดว่าเป็นไข่ที่ได้รับการผสมแล้ว แต่มันเกิดอุบัติเหตุจากการที่เส้นเลือดที่ผิวไข่แดงแยกออกจากกันในกระบวนการสร้างไข่ หรือมีเลือดออกที่ผนังรังไข่ก็เป็นได้ แต่จะมีไข่ไม่ถึง 1% ที่มีจุดเลือดดังกล่าว

2.2.6 **สีของไข่** (Colors)

- สีเปลือก อาจเป็นได้ทั้งสีขาวและสีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแม่ไก่ และสีของเปลือกไม่มีความแตกต่างในด้านคุณภาพ การปรุงอาหารหรือ คุณค่าทางโภชนาการ

- สีไข่แดง ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยงแม่ไก่

2.2.7 **ความสด** (Freshness) นอกจากอายุของไข่ที่เป็นปัจจัยบ่งบอกความสดของไข่แล้ว อุณหภูมิ และความชื้นในอากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสดของไข่เช่นกัน ไข่ที่มีอายุ 1 สัปดาห์ อาจมีความสดมากกว่าไข่ที่มีอายุ 1 วันที่ไม่ได้ดูแลอย่างถูกวิธี และสภาพแวดล้อมที่ดีที่สุดสำหรับไข่ คือ อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส และความชื้นในอากาศ 70-80%

เนื่องจากลักษณะคุณภาพไข่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค และเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดราคาไข่ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ได้กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติเรื่อง ไข่ไก่ (มกอช. 6702-2548) ไว้เป็นมาตรฐานสมัครใจ ดังนี้ คือ การแบ่งระดับชั้นคุณภาพของไข่ไก่ (grading) ตามคุณลักษณะภายนอก และคุณลักษณะภาพใน เป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ระดับชั้นคุณภาพเอเอ (AA) ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 83-100 ระดับคุณภาพชั้นเอ (A) ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 59-75 ระดับคุณภาพชั้นบี (B) ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 35-51 ระดับชั้นคุณภาพซี (C) ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 11-21 โดยพิจารณาจากคุณลักษณะภายนอกจากเปลือกไข่ และดูลักษณะภายในจากการส่องไข่ และการต่อยไข่ ดังนี้

1) ลักษณะภายนอก คือ น้ำหนักฟองไข่ และกำหนดขนาดของไข่ตามน้ำหนัก

2) ลักษณะภายในฟองรวม 7 ลักษณะ คือ ความสูงไข่ขาว สีไข่แดง น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ และค่าฮอกยูนิต

- คำนวนค่าฮอกยูนิต (Haugh unit, HU) หรือ ค่าความสดของไข่ (อรวรรณ ชินราศรี, 2547: 3) ตามสูตรดังนี้

$$HU = 100 \log \left(H - 1.7 \times W^{0.37} + 7.6 \right)$$

เมื่อ H = ความสูงไข่ขาวเฉลี่ย (มิลลิเมตร)

W= น้ำหนักไข่ทั้งฟอง (กรัม)

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักไข่มาตรฐานที่กำหนดใช้ในประเทศไทย

Jumbo	Extra Large	Large	Medium	Small	Pee Wee
เบอร์ 0	เบอร์ 1	เบอร์ 2	เบอร์ 3	เบอร์ 4	เบอร์ 5
70 กรัมขึ้นไป	65-70 กรัม	60-65 กรัม	55-60 กรัม	50-55 กรัม	น้อยกว่า 50 กรัม

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่

ส่วนของไข่	น้ำหนัก	ร้อยละ				
		น้ำ	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
ไข่ทั้งฟอง	100	65.5	0.25	11.8	11.0	11.7
ไข่แดง	31	48	1.1	17.5	32.5	2.0
ไข่ขาว	58	87.6	6.5	11.0	0.2	0.8
เปลือกไข่	11	2.6	0.07	3.2	0.03	95.1
ไข่ไม่รวมเปลือก	89	74.0	13.0	11.0	1.0	1.0

ที่มา (ดัดแปลงจาก สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529 : 33)

2.3 คุณค่าทางโภชนาการของไข่ไก่

ไข่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนคุณภาพดี มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน และมีกรดอะมิโนชนิดที่มีซัลเฟอร์สูง มีประโยชน์ในการสร้างเซลล์ผิวหนัง ผมและเล็บ แร่ธาตุในไข่ขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีในอาหารไก่

ไข่เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารอาหารหลายชนิดอยู่ภายในไข่ ในไข่ขาวจะมีโปรตีนสูง และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง คือ มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ส่วนในไข่แดงจะมีสารอาหารหลายชนิด ได้แก่โปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ ไขมันในไข่แดงส่วนใหญ่จะเป็นไขมันไม่อิ่มตัว รวมถึง omega-3 ซึ่งเป็นไขมันไม่อิ่มตัว ที่ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจขาดเลือด ซึ่งมีคุณค่าเหมือนไขมันในปลาแซลมอลและปลาทะเล ส่วนคลอเรสเตอรอลจะมีเฉพาะในไข่แดง ไม่มีในไข่ขาว สารอาหารอื่นได้แก่ ธาตุเหล็ก กรดโฟลิก(Folic acid) ไรโบเฟลวิน(Riboflavin) โคลีน (choline) วิตามินเอ บี ดี และ อี ส่วนวิตามินที่ไม่พบในไข่คือ วิตามินซี ธาตุเหล็กในไข่ มีคุณค่าเทียบเท่ากับเนื้อสัตว์ แต่เคี้ยวง่ายไม่เหนียวเหมือนเนื้อสัตว์ จึงเหมาะสมกับเด็กทารก และคนสูงอายุที่มีปัญหาเรื่องฟัน โฟลิก เป็นสารที่ป้องกันเลือดจาง และป้องกันความพิการแต่กำเนิด มีความจำเป็นในหญิงที่ตั้งครรภ์ โคลีน(Choline) เป็นสารที่ช่วยเสริมสร้างความจำ (Cognitive function) ช่วยพัฒนาการในเด็กที่กำลังเติบโต จะเห็นได้ว่าไข่เป็นอาหารที่มีคุณค่ามาก ให้สารอาหารที่เกือบครบถ้วน ในขณะที่ราคาถูกกว่าอาหารอื่นๆที่มีคุณค่าทางอาหารเท่ากัน สามารถทำเป็นอาหารได้หลายชนิด

ตารางที่ 2.3 สารอาหารในไข่ขนาดใหญ่ 1 ฟอง

สารอาหาร (หน่วย)	ไข่ทั้งฟอง	ไข่ขาว	ไข่แดง
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	72	17	55
โปรตีน (กรัม)	6.29	3.60	2.70
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	0.39	0.21	0.61
ไขมันรวม (กรัม)	4.97	0.06	4.51
ไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (กรัม)	0.682	0	0.715
ไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (กรัม)	1.905	0	1.995
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	1.55	0	1.624
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	212	0	210
โคลีน (มิลลิกรัม)	125.5	-	-
ลูทีน และ ซีแซนทีน (ไมโครกรัม)	166	0	186
วิตามิน เอ (IU)	244	0	245
วิตามิน ดี (IU)	18	0	18
วิตามิน อี (มิลลิกรัม)	0.48	0	0.44
วิตามิน บี 6 (มิลลิกรัม)	0.071	0.002	0.059
วิตามิน บี 12 (ไมโครกรัม)	0.65	0.03	0.33
โฟเลต (ไมโครกรัม)	24	1	25
ไธอะมิน (มิลลิกรัม)	0.035	0.001	0.03
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.239	0.145	0.09
แคลเซี่ยม (มิลลิกรัม)	26	2	22
โซเดียม (มิลลิกรัม)	70	55	8
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	67	54	19
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	96	5	66
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	6	4	1
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.92	0.03	0.46

ตารางที่ 2.4 อัตราการบริโภคไข่ (หน่วย: ฟอง/คน/ปี) ปี 2549

ประเทศ	อัตราการบริโภค (ฟอง/คน/ปี)	ประเทศ	อัตราการบริโภค (ฟอง/คน/ปี)
1.เม็กซิโก	351	17.สวีเดน	198
2.จีน	340	18.สเปน	196
3.ญี่ปุ่น	324	19.อาร์เจนตินา	186
4.ฮังการี่	295	20.สวิตเซอร์แลนด์	184
5.เดนมาร์ค	270	21.เนเธอร์แลนด์	182
6.แคนาดา	260	22.อังกฤษ	173
7.สหรัฐอเมริกา	256	23.ไอร์แลนด์	171
8.ฝรั่งเศส	251	24.ฟินแลนด์	160
9.สาธารณรัฐเชค	244	25.ออสเตรเลีย	155
10.ออสเตรีย	227	**26.ไทย**	**150**
11.อิตาลี	219	27.บราซิล	132
12.นิวซีแลนด์	218	28.กรีซ	132
13.เยอรมัน	206	29.อิหร่าน	130
14.โคลัมเบีย	205	30.อาฟริกาใต้	124
15.เบลเยี่ยม	200	31.อินเดีย	38
16.สโลวาเกีย	199		

ที่มา: International Egg Commission, International Egg Market, Annual Review, 2007.

2.4 สิ่งที่เปลี่ยนไปเมื่อเก็บไข่ไว้นาน

2.4.1 โพรงอากาศในไข่จะมีขนาดใหญ่ขึ้น มองเห็นได้ชัดโดยใช้วิธีส่องไข่ หากเก็บไข่ไว้ในที่ที่มีความชื้นสูงจะทำให้โพรงอากาศขยายได้ช้าลง การเปลี่ยนแปลงชนิดนี้ทำให้ไข่สูญเสียน้ำไปบ้างเล็กน้อยเท่านั้น ผู้บริโภคไม่ค่อยได้สนใจการเปลี่ยนแปลงทางด้านนี้มากนัก

2.4.2 ไข่แดงใหญ่ขึ้น โดยน้ำในไข่ขาวสามารถเคลื่อนเข้าไปในไข่แดงด้วยแรงดันออสโมซิส เนื่องจากความเข้มข้นของไข่แดงมากกว่าไข่ขาว ทำให้ไข่แดงมีขนาดใหญ่ขึ้น ไม่อยู่ตรงกลางของฟองไข่ มีความหนืดน้อยลง เยื่อหุ้มไข่แดงยืดออกจนขาดง่าย ทำให้ไข่มักแตกเสียก่อน แยกไข่แดงออกจากไข่ขาวยาก ในบางครั้งไข่แดงก็อาจเอียงไปติดเปลือกด้านใดด้านหนึ่ง ถ้าเก็บไข่ไว้ในอุณหภูมิที่สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในข้อนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.4.3 ไข่ขาวข้นเหลว ในขณะที่เก็บไข่ ไข่ขาวข้นจะกลายเป็นไข่ขาวเหลว เพราะมีการย่อยโปรตีนในไข่ขาวเอง ปริมาณไข่ขาวข้นในไข่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ไก่ด้วย ในปัจจุบันจึงมีการผสมพันธุ์ไก่ เพื่อให้ได้ไข่ที่มีปริมาณไข่ขาวข้นสูง

2.4.4 ไข่เป็นด่างมากขึ้น ระหว่างที่เก็บไข่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไข่จะระเหยออก ทำให้ไข่มีฤทธิ์เป็นด่างมากขึ้น ก๊าซนี้เกิดจากขบวนการเมตะโบลิซึมของไข่ และละลายอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิก และเกลือไบคาร์บอเนต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะระเหยออกไปจนในไข่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับอากาศโดยรอบ

2.4.5 รสและกลิ่นเปลี่ยนแปลง ไข่ใหม่จะให้รสอร่อยมากกว่าไข่เก่า ถ้าเก็บไข่ไว้ในที่ที่มีอากาศเหม็นไข่ก็อาจดูดเอากลิ่นสิ่งที่เหม็นที่อยู่รอบๆ เข้าไปที่รูเปลือกไข่

2.4.6 เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จุลินทรีย์สามารถเข้าไปในไข่ได้โดยเข้าไปในรูพรุนของเปลือกไข่ จุลินทรีย์บางชนิดทำให้ไข่เสียได้ และบางอย่างก็ทำให้เกิดโรคต่างๆ ดังนั้นควรเก็บไข่ไว้ในที่สะอาด

2.4.7 ไข่จะฟักเป็นลูกไก่ ไม่ควรเก็บไข่ที่มีเชื้อตัวผู้ผสมไว้ที่อากาศร้อน เพราะจะทำให้ตัวอ่อนเจริญเติบโต ในอุตสาหกรรมไข่ไม่นิยมเก็บไข่ประเภทนี้

วิธีการเก็บไข่ที่เหมาะสมที่สุด คือ ควรเก็บในที่แห้งและเย็น จึงจะเก็บไว้ได้นาน เช่น เก็บในตู้เย็น หรือถ้าไม่ใช้ตู้เย็นก็ควรเก็บไว้ในที่แห้งไม่ชื้นและอากาศถ่ายเทได้สะดวก และไม่ควรเก็บไว้นาน

2.5 การเก็บรักษาไข่

2.5.1 **การเก็บไข่ระหว่างรอขาย** ต้องเก็บไว้ในห้องเย็นที่มีการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิไข่โดยจะแข็งตัวที่อุณหภูมิ-2องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องปรับให้ห้องเย็นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเยือกแข็งเล็กน้อยเพื่อไม่ให้ไข่เย็นจัดจนแข็ง และต้องป้องกันการสูญเสียน้ำโดยการปรับความชื้นของห้องให้สูงและให้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง-1.7 ถึง -0.6องศาเซลเซียส วิธีนี้อาจจะมีไข่เสียบ้าง แต่ก็เป็นไปอย่างช้าๆ

เพื่อยืดระยะเวลาการเก็บไข่ ก่อนเก็บต้องจุ่มไข่ลงในน้ำมันแร่ซึ่งไม่มีกลิ่นและสีใดๆ ให้น้ำมันเคลือบเป็นผิวบางๆที่เปลือกไข่ จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกจากไข่ หรืออาจจะจุ่มไข่ลงในน้ำหรือน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ความร้อนขนาดนี้จะทำให้ไข่ขาวข้นคงตัว ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีในไข่ และทำลายตัวอ่อนในไข่ที่มีเชื้อตัวผู้ แต่วิธีนี้จะทำให้ไข่แดงติดเปลือกไข่ และต้องใช้เวลาในการตีไข่ขาวให้ฟูนานขึ้น

2.5.2 **การแช่แข็งไข่** มักจะใช้วิธีนี้กับไข่ที่ เปลือกร้าว เปลือกสกปรก รูปร่างไม่ดี ฟองเล็ก อาจทำไข่แช่แข็งทั้งฟอง หรือเฉพาะไข่ขาวหรือไข่แดงเท่านั้น ไข่ขาวสามารถแช่แข็งได้โดยไม่ต้องเติมอะไร ส่วนไข่แดงก่อนแช่แข็งควรเติมน้ำตาล เกลือ หรือกลีเซอรีน ลงไปเล็กน้อย เพื่อให้ไข่แดงละลายได้ดีโดยไม่เป็นก้อนหรือเป็นยางเหนียว ไข่แช่แข็งอาจมีเชื้อซาลโมเนลลาเหลืออยู่ ต้องระมัดระวังในเรื่องของความสะอาด ถ้าหากเปลือกไข่สกปรกก็ควรล้างก่อนต่อยไข่ออกจากเปลือก ตรวจลักษณะสี กลิ่น ก่อนตีไข่รวมกัน สำหรับความปลอดภัย ควรฆ่าเชื้อซาลโมเนลลาที่อาจเจือปนในไข่โดยให้ผ่านความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที

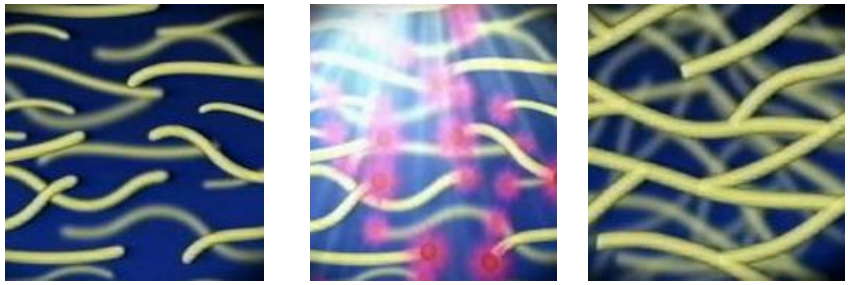
2.5.3 **การทำไข่ผง** ขั้นแรกให้ตีไข่เข้าด้วยกันและนำไปผ่านความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อต่อมาใช้แรงดันให้ไข่ผ่านรูเล็กๆพ่นเป็นฝอยลงไปในถังใหญ่ซึ่งมีลมร้อนประมาณ 121 ถึง149 องศาเซลเซียส น้ำในไข่จะระเหยไปทันที ไข่จะแห้งเป็นผงตกลงสู่พื้นล่างของถัง ในไข่ผงอาจมีแบคทีเรียซาลโมเนลลาเหลืออยู่ ก่อนทานจึงควรทำให้สุกก่อน

2.6 ผลของการฉายรังสีต่อพอลิเมอร์

การฉายรังสีพอลิเมอร์ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากมาย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเหล่านี้ สามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้ที่มีประโยชน์อย่างมากในทางอุตสาหกรรม เช่น

2.6.1 **การเชื่อมโยงข้าม** (Cross-linking)

การเชื่อมโยงข้าม หรือ ครอสลิงก์ คือ การเกิดพันธะเคมี ที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ กลายเป็นโครงร่างที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วครอสลิงจะช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง ความเหนียว ความทนทานต่อสารเคมี และสมบัติสำคัญอื่น ๆ



ก่อนฉาย ขณะฉาย หลังฉาย

- ก่อนฉายรังสีโครงสร้างของพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงไม่มีพันธะเคมีระหว่างเส้น
- ขณะฉายรังสี เมื่อนำไปฉายรังสี จะเกิด อนุมูลอิสระ (free radicals) ขึ้นบนสายโซ่ของพอลิเมอร์
- หลังฉายรังสี อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากัน เกิดเป็นพันธะเคมีเชื่อมต่อ ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์

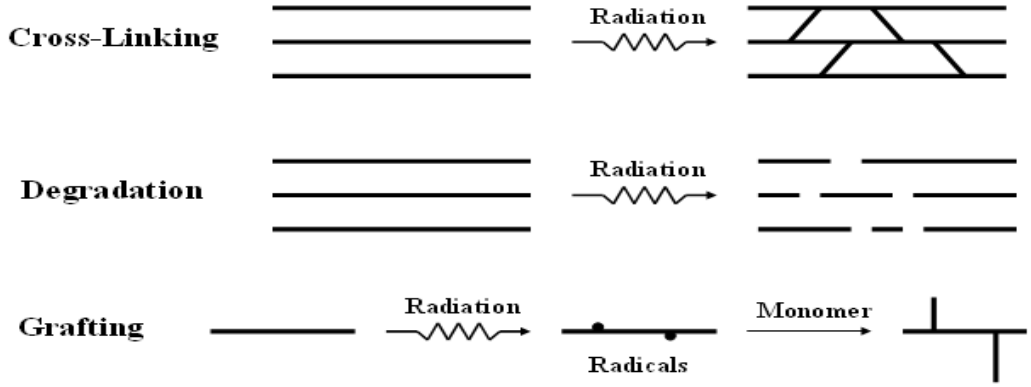
2.6.2 **การต่อกิ่ง** (Grafting)

เป็นการต่อมอนอเมอร์ต่างชนิดเข้ากับพอลิเมอร์ที่สนใจ โดยเมื่อนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสี หมู่ทำหน้าที่ (functional group) บางส่วน อาจหลุดจากสายโซ่ของพอลิเมอร์ และกลายเป็นจุดตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ของมอนอเมอร์ ก่อให้เกิดเป็น

สายโซ่ของพอลิเมอร์เส้นใหม่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์เส้นเดิม ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประโยชน์อย่างมากสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของพอลิเมอร์

2.6.3 **การตัดทอนโมเลกุล** (Degradation)

เป็นการทำให้เกิดการแตกสลายของพันธะเคมี ซึ่งทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง และมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง ส่งผลให้ขั้นตอนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ทำได้ง่ายขึ้น และมีประโยชน์อย่างมากสำหรับพอลิเมอร์บางชนิด เช่น เทฟลอน (TEFLON: polytetrafluoroethylene, PTFE) ที่ไม่สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลได้ด้วยวิธีอื่น



ภาพที่ 2.3 **การใช้รังสีแกมมาในการ** cross linking, degradation and grafting

พอลิเมอร์ในกลุ่มที่มีโครงสร้างเกะกะ เช่น ไคโตซาน มักเกิดการเสื่อมสลายหรือดีโพลิเมอร์ไรซ์ได้โดยรังสีในสภาวะปกติ อัตราการดีโพลิเมอร์ไรซ์ขึ้นโดยตรงกับปริมาณรังสีและค่าจีของการเสื่อมสลาย (G_d) โดยค่า G_d คือ จำนวนโมเลกุลที่เสื่อมสลายต่อพลังงานรังสีที่ดูดกลืนปริมาณ 100 อิเล็กตรอนโวลต์ การเสื่อมสลายของพอลิเมอร์เป็นไปตามสมการ

$$Mn^{-1} - Mn_0^{-1} = (G_s/G_x)D/100N_A$$

$$Mw^{-1} - Mw_0^{-1} = (G_s/2G_x)D/100N_A$$

โดย Mn, Mn_0, Mw, Mw_0 คือ number และ weighted average molecular weight ก่อนและหลังฉายรังสีด้วยปริมาณรังสี D ค่า G_s และ G_x เป็นผลผลิตของการตัดสายโซ่ และการเกิดเชื่อมโยงตามลำดับตามเงื่อนไขฉายรังสีในอากาศ G_x เป็นศูนย์ G_s =1.01 (ชยากริต, 2544)

กลไกการเกิดโอลิโกไคโตซานโดยรังสีแกมมาในอากาศ

ไคโตซาน $R-H^{\circ} \longrightarrow R^{\circ}(C_1-C_6)+H$

$R-H+H^{\circ} \longrightarrow R^{\circ}(C_1-C_6)+H$

$R^{\circ}(C_1,C_6) \longrightarrow F_1^{\circ}+F_2\ (\text{scission})$

พันธะเคมีที่ตำแหน่ง β (1-4) แตก

การฉายรังสีไคโตซานในน้ำ

$H_2O \longrightarrow {}^{\circ}OH+H^{\circ}+e_{aq}^-$

${}^{\circ}OH(H^{\circ\circ})+R-H \longrightarrow R^{\circ}(C_1-C_6)H_2O+(H_2)$

การเกิดอนุมูลอิสระ ${}^{\circ}OH$ และ H° จึงทำให้การดีโพลิเมอร์ไรซ์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

การฉายรังสีไคโตซานโดยตรง

$R-H \longrightarrow R^{\circ}(C_4-C_6)+H^{\circ}$

$R-H+H^{\circ} \longrightarrow R^{\circ}(C_1-C_6)+H_2$

$R^{\circ}(C_1,C_4) \longrightarrow F_1^{\circ}+F_2\ (\text{scission})$

$R-NH_2+H^{\circ} \longrightarrow R^{\circ}(C_2)+NH_3$

การฉายรังสีไคโตซานร่วมกับกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

$H_2O \longrightarrow H_2, H_2O_2, e_{eq}^-, H^{\circ}, {}^{\circ}OH, H_3O^+$

$H^{\circ}+H_2O_2 \longrightarrow H_2O+{}^{\circ}OH$

$e_{eq}^-+H_2O_2 \longrightarrow {}^{\circ}OH+OH^-$

$H_2O_2 \longrightarrow 2{}^{\circ}OH$

$R+{}^{\circ}OH \longrightarrow R^{\circ}+H_2O$

$R+{}^{\circ}H \longrightarrow R^{\circ}+H_2$

$R^{\circ} \longrightarrow R_1+R_2$

2.7 เทคนิควิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล

2.7.1 Gel Permeation Chromatography (GPC) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีข้อดี คือ นอกจากสามารถวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลได้แล้วยังสามารถให้ข้อมูลทางด้านการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลได้อีกด้วย ตัวอย่างงานที่สามารถวิเคราะห์ทดสอบ ได้แก่ พอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น โพลีสไตริน โพลีไวนิลอซีเตท โพลีเอสเตอร์ และอะคริลิกเรซิน เป็นต้น และพวกพอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น ไคโตซาน แป้ง แซนแทนกัม และมอลโตเดรกตริน เป็นต้น

หลักการ เป็นวิธีแยกและตรวจหาสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คอลัมน์ที่ใช้บรรจุด้วยอนุภาคที่มีขนาดของรูพรุนต่างๆกัน การเลือกขนาดรูของ Packing ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ต้องการแยก ถ้าสารตัวอย่างที่ต้องการแยกประกอบด้วยตัวถูกละลายที่มีขนาดต่างกันและ Packing มีรูเพียงขนาดเดียวจะไม่สามารถแยกทุกตัวถูกละลายในสารตัวอย่างนั้นได้ เนื่องจากโมเลกุลบางตัวที่มีขนาดใหญ่กว่ารูของอนุภาคจะถูกชะออกไปและปรากฏออกมาเป็นพีกแรกและพีกเดียวในโครมาโทแกรม วิธีนี้สามารถวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล และ วิเคราะห์หา Mw ของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ได้ทั้งของแข็งและของเหลว แต่ถ้าเป็นของแข็งต้องนำมาละลายในตัวทำละลายให้เป็นสารละลายก่อน

2.8 เทคนิควิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล

2.8.1 UV-Visible spectrophotometer จะอาศัยหลักการพื้นฐาน คือเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV-Visible อิเลคตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุล จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer สามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง ทางด้านคุณภาพและปริมาณโดย ความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสามารถใช้ในการระบุชนิดของสารในขณะที่ปริมาณการดูดกลืนแสง จะใช้ในการบอกปริมาณของ สารที่นำมาวิเคราะห์

การหาปริมาณของสารจะอาศัย Beer's law ดังนี้

$$A = \varepsilon bc$$

A = ค่าการดูดกลืนแสง

ε = molar absorptivity $(L.mol^{-1}.cm^{-1})$

b = path length

c = ความเข้มข้นของสารที่นำมาวิเคราะห์($mol^{-1}.L^{-1}$)

ในการหาปริมาณของสารจะสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ สารที่ต้องการวิเคราะห์และค่าการดูดกลืนแสง

2.8.2 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) ใช้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน และโครงสร้างทางเคมีของสาร โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยอาศัยหลักการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรดที่ทำให้เกิดการสั่นของพันธะเคมีภายในโมเลกุล ซึ่งค่าความถี่ต่างๆ ของการสั่นในสเปกตรัมนั้นสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโมเลกุลของสารที่แน่นอนได้ ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์สามารถเป็นของแข็งหรือของเหลวได้ โดยสามารถทดสอบได้ทุกโมเลกุล ยกเว้น Homonuclear diatomics (เช่น N_2)

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องฉายรังสีแกมมาที่ได้จากไอโซโทปรังสีโคบอลต์-60
2. ฟูร์เรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) รุ่น TENSOR 27, Bruker Germany
3. ยูวีวิสสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer, UV) รุ่น Cary Double Beam Spectrophotometer, Varian Australia
4. เจลเพอร์เมียร์ชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatography, GPC)
5. pH meter รุ่น CONSORT C532, Belgium
6. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)
7. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น METTLER TOLEDO AB204-s/FACT, Switzerland
8. บีกเกอร์ (Beaker)
9. ห่วง (Wire dipping loop)
10. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper)
11. กระชอนแยกไข่
12. กระจกนาฬิกา(watch glass)
13. แผ่นกระจก
14. ปิเปต
15. พัดลม

3.2 รายการสารเคมี

1. ไคโตซาน (90% DD, Mw 597 kDa) ซื้อมาจาก บริษัท โบนาฟิเดสมาเก็ตติ้ง จำกัด
2. ไข่ไก่สด (ขนาด 60-69 กรัม เบอร์ 2) ซื้อมาจากทักสมฟาร์ม อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก
3. กรดอะซิติก กราเชียล 100% (CH_3COOH), Sigma, Germany
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), Merck, Germany

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมไคโตซานเพื่อนำไปฉายรังสี

บรรจุผงไคโตซานในถุงซิบโพลีสไตรีน ถุงละ 5 กรัม จำนวน 6 ถุง แล้วนำไปฉายรังสีแกมมาที่ได้จาก โคบอลต์-60 ที่ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ความแรงรังสี 10 -100 กิโลเกรย์ ที่อัตราความแรงรังสี 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง โดยฉายรังสีที่ความแรงรังสี 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ตามลำดับ

3.3.2 ตรวจสอบคุณลักษณะของไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสี

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) รุ่น TENSOR 27 ของ Bruker Germany ทำได้โดยนำไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาแล้ว มาวัดคุณลักษณะในรูปของของแข็ง (ผงละเอียด) ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 4000 cm^{-1}

3.3.3 วัดค่าการดูดกลืนแสง

ใช้เครื่อง UV-VIS spectrometer รุ่น Cary Double Beam Spectrophotometer ของ Varianประเทศออสเตรเลีย โดยนำสารละลายไคโตซานที่เตรียมโดยละลายใน 2%(v/v) กรดอะซิติก ให้ได้ความเข้มข้น 1%(w/v) และปรับ pH ด้วย 6 M NaOH ให้ได้ 5.6 จากนั้นนำมาบรรจุในเซลล์

บรรจุตัวอย่าง และนำไปวัด UV-VIS ในช่วงความยาวคลื่น 190-900 นาโนเมตร ช่วงความละเอียดของความถี่ 0.6 นาโนเมตร

3.3.4 หาน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีแกมมาโดยใช้เครื่อง Gel Permeation Chromatography (GPC) อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เตรียมสารละลายตัวอย่างด้วย 2% กรดอะซิติก (v/v) ให้มีความเข้มข้นประมาณ 0.1 % (w/v) ปรับ pH เป็น 5.6 ด้วย 6 M NaOH ปริมาณสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวัดแต่ละครั้งเท่ากับ 20 ไมโครลิตร เปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานโพลีสไตรีน (polystyrene standard) ที่ทราบน้ำหนักโมเลกุลที่แน่นอน

3.3.5 การเตรียมสารละลายไคโตซานและการเคลือบไข่ไก่

นำไข่ไก่อายุ 1 วัน (ขนาด 60-69 กรัม) ที่ทำความสะอาดแล้วมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึกข้อมูลของไข่ จากนั้นนำไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีแกมมาแต่ละขนาดมาละลายใน 2% กรดอะซิติก (v/v) โดยเตรียมให้ได้ความเข้มข้น 1% (w/v) จากนั้นนำไข่ไก่ที่ทำความสะอาดแล้วอายุ 1 วัน จุ่มแช่ในสารละลายไคโตซานเป็นเวลา 5 วินาที แล้วผึ่งให้แห้งโดยใช้พัดลม ซึ่งในการเคลือบแต่ละขนาดของไคโตซานจะเคลือบ 1, 2 และ 3 ชั้น ตามลำดับ (n = 56) และเก็บไข่ที่เคลือบแล้วไว้ในถาดวางไข่กระดาษที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส

3.3.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานเทียบกับไข่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน

3.3.6.1 ลักษณะภายนอก (น้ำหนักฟองไข่)

โดยการนำไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ฉายรังสีที่ทราบขนาดโมเลกุลขนาดต่างๆ มาชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 3.1 แล้วคำนวณหาน้ำหนักที่สูญเสียไปโดยใช้น้ำหนักไข่ไก่เริ่มต้นลบน้ำหนักไข่ไก่หลังจากเก็บไว้ที่เวลาต่างๆ หารด้วยน้ำหนักไข่ไก่เริ่มต้น แล้วคูณด้วยหนึ่งร้อย ค่าที่ได้จะเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\text{Weight loss}(\%) = \frac{\text{Initial egg weight (g) - Egg weight after storage (g)}}{\text{Initial egg weight (g)}} \times 100 \quad \text{.....(1)}$$

ภาพที่ 3.1 ชั่งน้ำหนักไข่ไก่ก่อนและหลังเคลือบด้วยไคโตซาน

3.3.6.2 **ลักษณะภายในฟอง**

โดยนำไข่ไก่มาศึกษาลักษณะภายในฟองไข่ รวม 7 ลักษณะ คือ ความสูงไข่ขาวความสูงของไข่แดง น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว การแยกกันของไข่ขาวไข่แดง pH ของไข่ขาว และค่าฮอกยูนิตหรือค่าความสดของไข่ โดยเริ่มการศึกษาจากการต่อยไข่ลงบนประจก เพื่อ

- วัดความสูงไข่ขาวและไข่แดงด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์
- วัด pH ของไข่ขาวด้วย pH meter
- แยกไข่แดงออกจากไข่ขาวด้วยกระชอนแยกไข่ และชั่งน้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักไข่แดงด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก

-คำนวนค่าฮอกยูนิต (Haugh unit, HU) หรือ ค่าความสดของไข่

วิธีคำนวนค่าฮอกยูนิต หรือ ค่าความสดของไข่ (อรวรรณ ชินราศรี, 2547: 3) ดังสมการที่ (2)

$$HU = 100 \log\left(H - 1.7 \text{ x } W^{0.37} + 7.6\right) \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ H = ความสูงไข่ขาวเฉลี่ย (มิลลิเมตร)

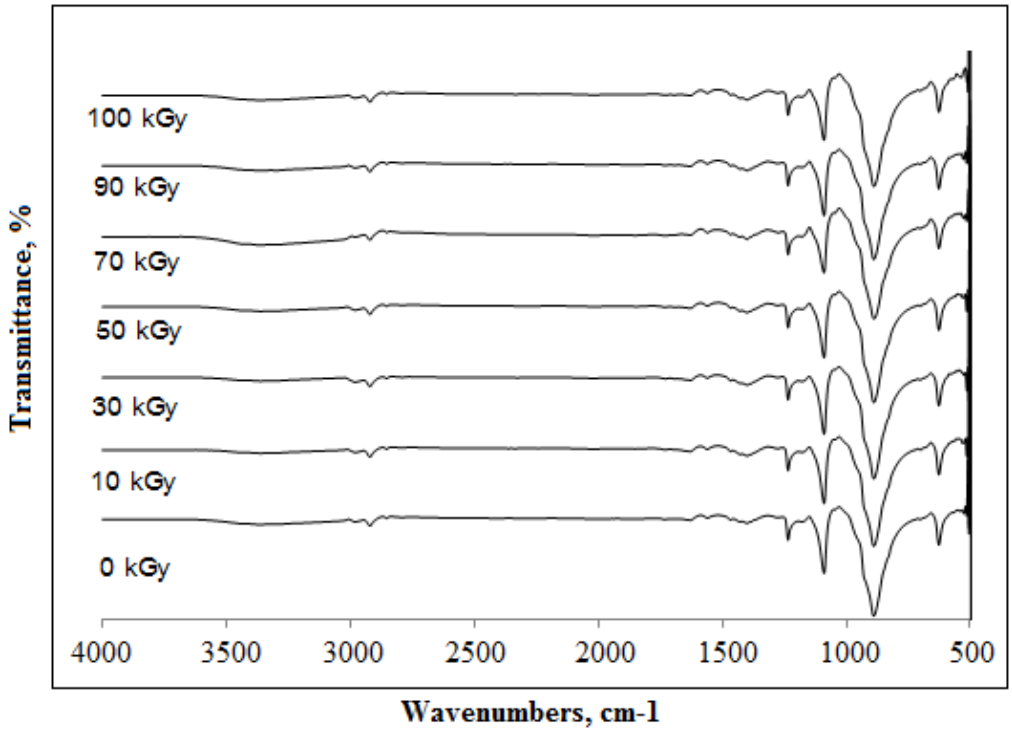
W= น้ำหนักไข่ทั้งฟอง (กรัม)

บทที่ 4
ผลของการวิจัย

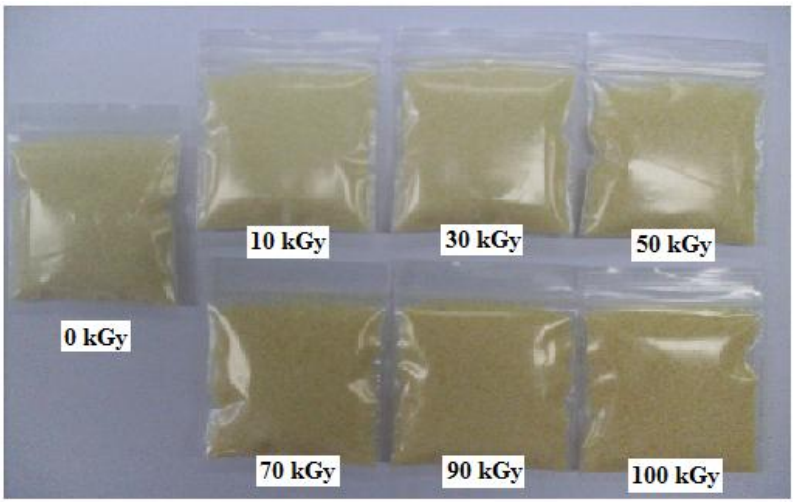
4.1 คุณลักษณะของไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสี

เทคนิค FTIR spectroscopy เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน และโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่าง โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ อาศัยหลักการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรดทำให้เกิดการสั่นของพันธะเคมีภายในโมเลกุล ค่าความถี่ต่างๆ ของการสั่นในสเปกตรัมสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโมเลกุลของสารที่แน่นอนได้ ดังนั้นจึงได้นำเทคนิคนี้มาวิเคราะห์คุณลักษณะของไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีแกมมา

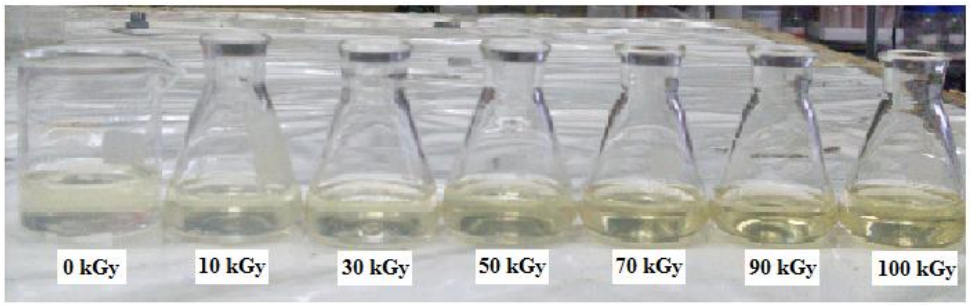
จากการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างหลักของไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี ซึ่งพบว่ามีหมู่หลักๆของโครงสร้างไคโตซานที่ 894, 1095 และ 1238, 1421, 2991 และ 3448 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่วงแหวนไพราโนส กลูโคไซด์ อะมิโน อะเซตาไมด์ คาร์บอนิล และหมู่ไฮดรอกซี ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 FTIR สเปกตรัมของไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสีแกมมา (0 kGy) และไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ที่ 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง



ภาพที่ 4.2 ผงไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี (0 kGy) และผงไคโตซานฉายรังสีที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ100 กิโลเกรย์ที่ 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

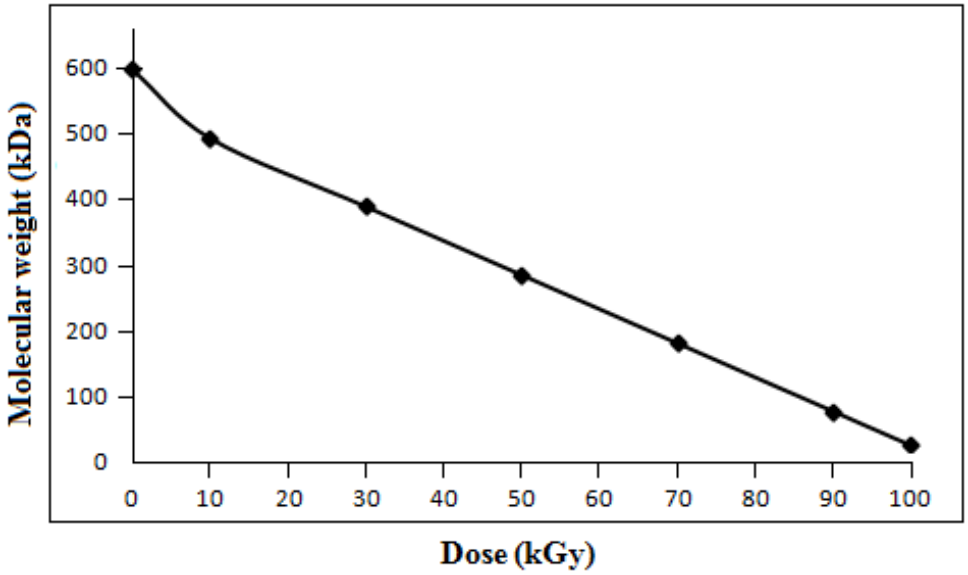


ภาพที่ 4.3 สารละลายไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี (0 kGy) และสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ที่ 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

4.2. **น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน**

จากภาพที่ 4.4 ผลการหาน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ได้จากการฉายด้วยรังสีแกมมา พบว่าไคโตซานก่อนฉายรังสีมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 597 กิโลดาลตัน เมื่อนำไคโตซานมาฉายรังสีด้วยรังสีแกมมาที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ตามลำดับพบว่าน้ำหนักโมเลกุลลดลงเป็น 492, 388, 284, 180, 76 และ 24 กิโลดาลตัน ตามลำดับ ซึ่งมีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณรังสีดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดอันตรกริยาระหว่างรังสี

กับโมเลกุลเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้โมเลกุลของไคโตซานเกิดการตัดทอนได้ดีและมีขนาดเล็กลง ในการทดลองนี้ค่าที่ 10 และ 50 กิโลเกรย์เป็นค่าที่วัดได้จริง ส่วนค่าอื่นๆเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ



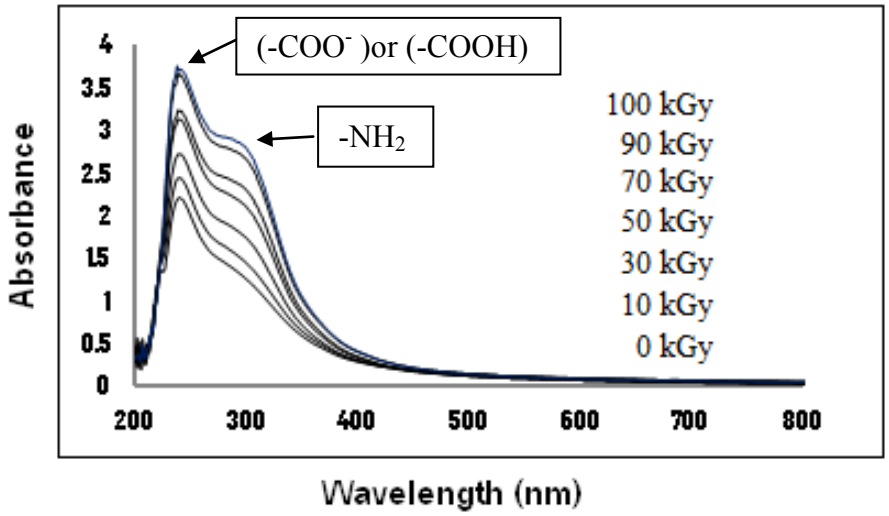
ภาพที่ 4.4 การลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของผงไคโตซานจากการฉายรังสีแกมมาที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ที่ 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

4.3 **ผล** UV-vis spectroscopy

จากภาพที่ 4.5 แสดงยูวีสเปกตรัมของไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี (0 kGy) จะพบพีคการดูดกลืนแสงของไคโตซานที่มีความเข้มมากที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 240 นาโนเมตร ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอนิล(-C=O)หรือหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) และช่วงประมาณ 280-300 นาโนเมตร เป็นหมู่อะมิโน (-NH_2) เมื่อนำไคโตซานมาฉายรังสีแกมมาที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ที่ 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง จะสังเกตเห็นว่าพีคการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 240 และ 300 นาโนเมตร มีความเข้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการฉายรังสี เนื่องจากไคโตซานจะดูดกลืนรังสีทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนแบบ $n \rightarrow \pi^*$ ของหมู่ C = O และ $n \rightarrow \sigma^*$ ของหมู่เอมีน(-NH_2) ตามลำดับ ทำให้พันธะหลักของโมเลกุลถูกทำลายและเกิดการแทนที่ของหมู่ไฮโดรเจน (H)

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของไคโตซาน

ปริมาณรังสี (kGy)	Wavelength (nm.)	Absorbance
0	240	2.1537
10	240	2.4437
30	240	2.7289
50	240	3.1259
70	240	3.2445
90	240	3.6852
100	240	3.7237



ภาพที่ 4.5 UV สเปกตรัมของไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี (0 kGy) และไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ที่ 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง

4.4 ผลของการเคลือบไคโตซานกับร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส

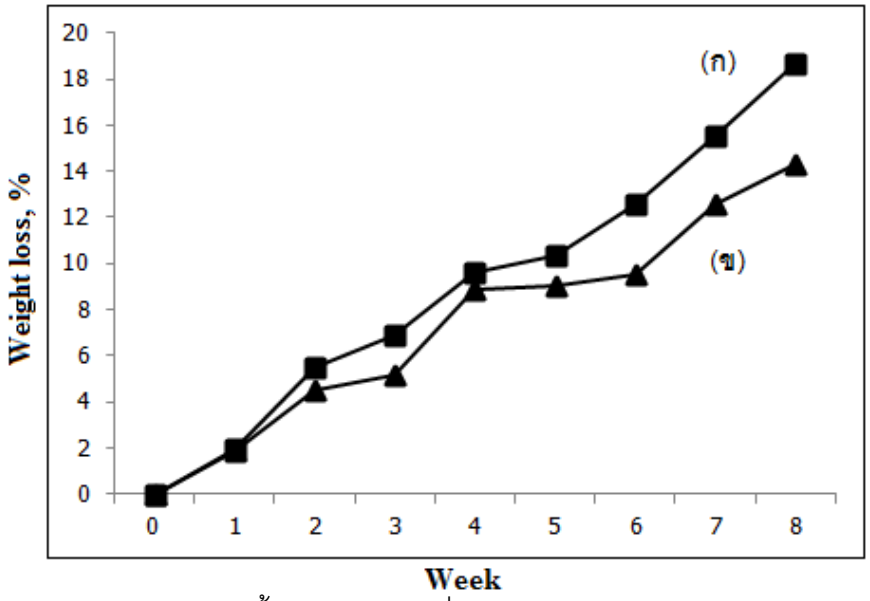
ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซานมีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วภายใน 1 สัปดาห์ และเมื่อผ่านไป 6 สัปดาห์พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักสูงอย่างต่อเนื่องจาก 1.06 ถึง 12.54 เปอร์เซ็นต์ และสัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 18.63 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานพบว่าการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่จะค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยเมื่อผ่านไป 8 สัปดาห์ได้สูญเสียน้ำหนัก 14.34, 15.54, 16.05,

16.12, 16.35 และ 16.30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไข่ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.6 จากผลการเคลือบด้วยไคโตซานที่ 1, 2 และ 3 ชั้น ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ซึ่งพบว่าทำการเคลือบหนึ่งชั้นก็เพียงพอ นอกจากนี้จากผลการฉายรังสีไคโตซานยังพบว่าที่ 10 กิโลเกรย์มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.2 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโคซาน และไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy)

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน	0	1.94	5.46	6.91	9.64	10.35	12.54	15.54	18.63
ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน	0	1.85	4.53	5.13	8.83	9.04	9.50	12.59	14.34

หมายเหตุ จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์

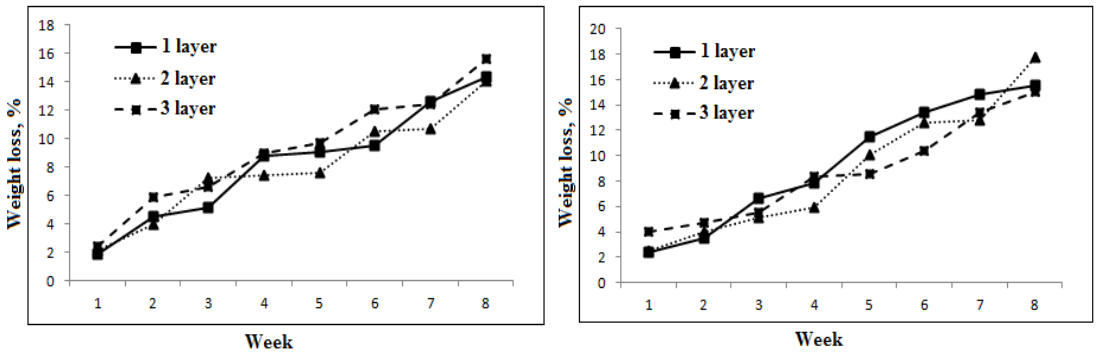


ภาพที่ 4.6 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับ (ก) ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโคซาน (ข) ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy)

ตารางที่ 4.3 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy

สัปดาห์	10 kGy			30 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	1.85 (0.85)	2.14 (0.26)	2.40 (0.02)	2.36 (0.72)	2.49 (0.07)	3.96 (0.70)
2	4.53 (0.25)	3.94 (0.36)	5.92 (1.03)	3.47 (0.08)	4.03 (0.05)	4.76 (0.16)
3	5.13 (0.51)	7.28 (1.28)	6.62 (0.24)	6.64 (1.32)	5.16 (0.31)	5.52 (0.91)
4	8.83 (0.08)	7.45 (0.55)	8.99 (0.04)	7.89 (0.94)	5.97 (1.02)	8.33 (0.64)
5	9.04 (1.75)	7.58 (0.23)	9.67 (0.45)	11.46 (4.10)	10.10 (0.89)	8.55 (1.42)
6	9.50 (2.26)	10.49 (1.75)	12.03 (1.52)	13.37 (1.48)	12.63 (0.45)	10.37 (1.52)
7	12.59 (1.08)	10.74 (0.56)	12.39 (1.48)	14.84 (1.79)	12.80 (0.25)	13.42 (0.73)
8	14.34 (1.56)	14.11 (1.42)	15.59 (0.48)	15.54 (0.90)	17.78 (5.08)	15.01 (2.46)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)
- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์



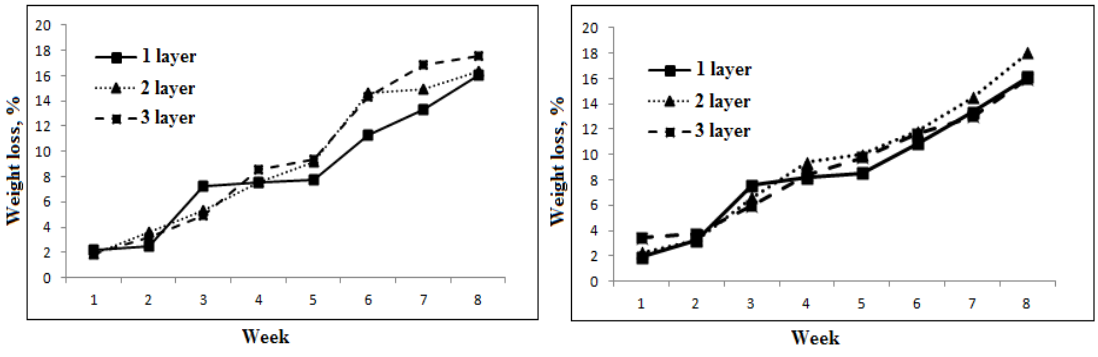
10 kGy 30 kGy

ภาพที่ 4.7 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy

ตารางที่ 4.4 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy

สัปดาห์	50 kGy			70 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	2.14 (0.02)	1.89 (0.11)	1.87 (0.40)	1.90 (0.31)	2.25 (0.48)	3.41 (1.80)
2	2.53 (0.96)	3.60 (0.07)	3.18 (0.07)	3.23 (0.01)	3.28 (0.07)	3.74 (0.24)
3	7.27 (2.68)	5.27 (0.20)	4.94 (1.95)	7.57 (0.57)	6.63 (0.50)	5.94 (0.55)
4	7.54 (0.20)	7.50 (0.43)	8.57 (0.33)	8.15 (0.25)	9.38 (0.44)	8.41 (0.03)
5	7.74 (0.24)	9.17 (0.02)	9.41 (0.42)	8.53 (0.29)	10.02 (4.27)	9.74 (2.18)
6	11.30 (1.90)	14.60 (1.07)	14.27 (1.90)	10.87 (0.79)	11.79 (0.59)	11.63 (3.15)
7	13.35 (0.35)	14.91 (2.78)	16.83 (0.85)	13.31 (1.68)	14.49 (4.86)	12.97 (1.40)
8	16.05 (4.66)	16.38 (0.43)	17.54 (1.23)	16.12 (2.84)	18.05 (1.18)	15.98 (3.47)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)
- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์



50 kGy 70 kGy

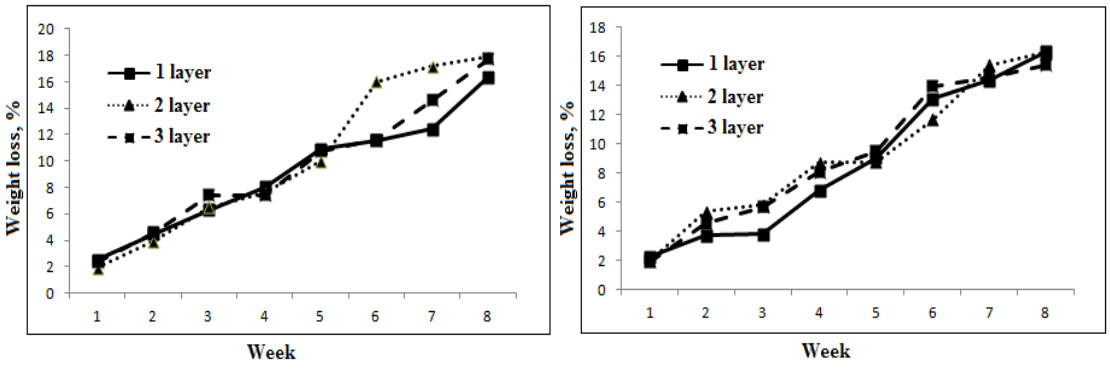
ภาพที่ 4.8 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy

ตารางที่ 4.5 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy

สัปดาห์	90 kGy			100 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	2.50 (0.36)	1.91 (0.09)	2.34 (0.45)	2.25 (0.65)	2.01 (0.16)	1.94 (0.01)
2	4.48 (0.43)	3.94 (0.02)	4.57 (0.09)	3.70 (0.24)	5.37 (1.42)	4.53 (1.11)
3	6.29 (1.35)	6.50 (0.71)	7.40 (1.64)	3.79 (3.58)	5.82 (0.09)	5.67 (0.41)
4	8.01 (0.65)	7.55 (0.21)	7.44 (0.04)	6.81 (0.24)	8.72 (1.08)	8.10 (0.24)
5	10.89 (1.55)	9.99 (2.95)	10.76 (2.14)	9.02 (1.19)	8.76 (2.80)	9.48 (0.62)
6	11.56 (1.98)	16.02 (0.96)	11.63 (5.21)	13.1 (0.40)	11.7 (1.52)	13.97 (4.08)
7	12.42 (0.65)	17.17 (1.46)	14.6 (2.30)	14.37(1.48)	15.39 (0.43)	14.59 (2.33)
8	16.35 (0.56)	17.89 (0.66)	17.74 (1.49)	16.30 (4.29)	16.26 (0.70)	15.39 (1.27)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์



ภาพที่ 4.9 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy

4.5 ผลของการเคลือบไคโตซานต่อค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ค่าความสดของไข่ไก่ สามารถหาได้โดยการวัดความสูงของไข่ขาวเฉลี่ยสามจุด แล้วคำนวณค่าตามสมการที่ (1) ซึ่งสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ได้กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติเรื่อง ไข่ไก่ (มกอช. 6702-2548) ไว้ 4 ระดับชั้น คือ ระดับชั้นคุณภาพเอเอ (AA) ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 83-100 ระดับชั้นคุณภาพเอ (A) ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 59-75 ระดับชั้นคุณภาพบี (B) ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 35-51 และระดับชั้นคุณภาพซี (C) ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 11-21

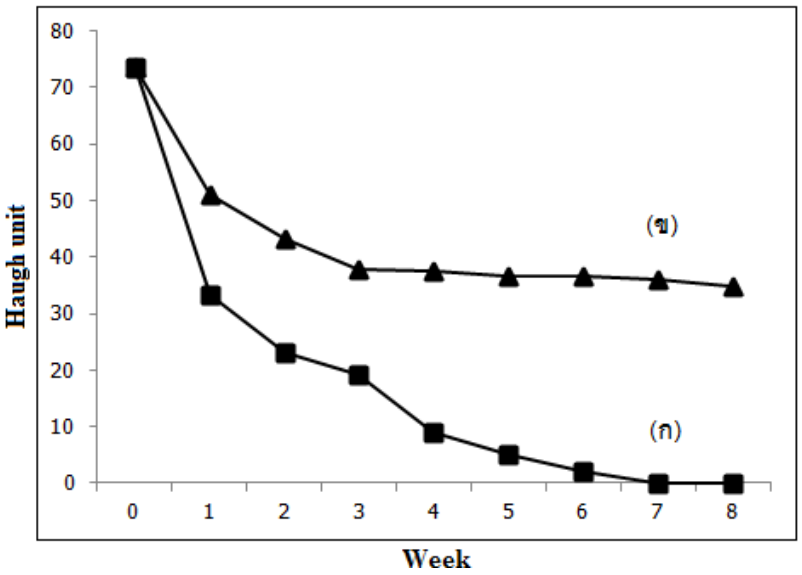
ซึ่งจากภาพที่ 4.10 พบว่าไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานนั้นค่าความสดของไข่ไก่ลดลงช้ากว่าไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน และยังอยู่ในระดับชั้นคุณภาพเกรดบี (35-51) แม้จะผ่านมา 6 สัปดาห์แล้วก็ตาม ในขณะที่ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานนั้นเพียงแค่สัปดาห์ที่ 3 ค่าความสดของไข่ไก่ก็ต่ำกว่าระดับชั้นคุณภาพเกรดซีแล้ว ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 และผลของการฉายรังสีไคโตซานยังพบว่าที่ 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ค่าความสดของไข่ไก่ยังอยู่ในระดับชั้นคุณภาพเกรดบี แต่ที่ 10 กิโลเกรย์ มีค่าความสดมากที่สุด คือ 36.50 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.6 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน และไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน	73.70	33.30	23.00	11.10	9.00	5.00	2.00	-*	-*
ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน	73.70	51.00	43.28	37.70	37.47	36.75	36.50	35.95	34.85

หมายเหตุ -* ค่าน้อยมากจนวัดไม่ได้

- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์



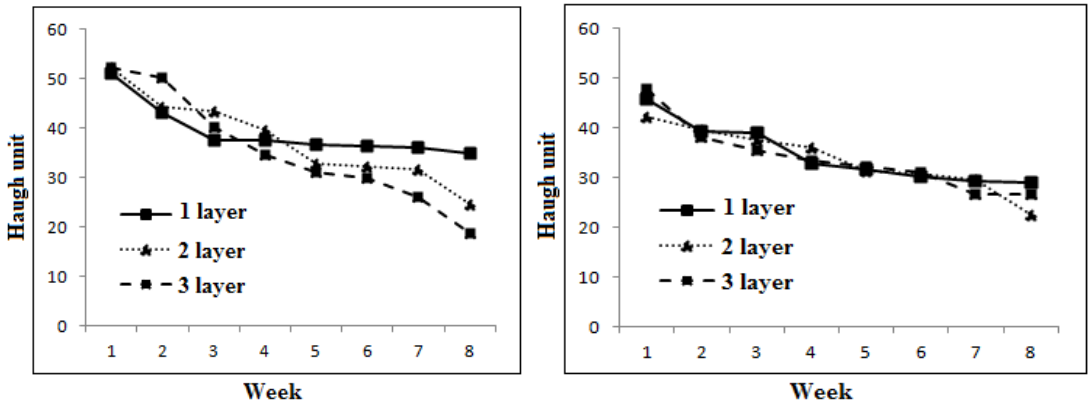
ภาพที่ 4.10 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับ (ก) ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน (ข) ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy)

ตารางที่ 4.7 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy

สัปดาห์	10 kGy			30 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	51.00 (0.36)	52.43 (5.28)	52.32 (5.91)	45.92 (2.36)	42.16 (0.56)	47.97 (1.88)
2	43.28 (3.53)	44.35 (3.99)	50.10 (3.70)	39.42 (1.52)	39.58 (3.77)	38.25 (3.99)
3	37.70 (3.53)	43.50 (7.14)	40.28 (2.15)	38.98 (2.71)	37.70 (1.72)	35.47 (1.34)
4	37.47 (4.51)	39.57 (2.70)	34.60 (0.79)	32.72 (3.66)	35.95 (6.99)	33.40 (5.07)
5	36.75 (4.84)	32.82 (5.78)	31.12 (4.12)	31.62 (4.98)	31.41 (2.17)	32.30 (5.40)
6	36.50 (1.94)	32.12 (1.61)	30.04 (3.36)	30.24 (5.31)	30.87 (3.38)	31.12 (1.16)
7	35.95 (4.15)	31.57 (4.39)	25.94 (4.25)	29.25 (6.15)	29.67 (0.79)	26.70 (6.63)
8	34.85 (1.78)	24.68 (2.41)	18.81 (6.12)	28.93 (1.98)	22.43 (0.63)	26.58(1.97)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์



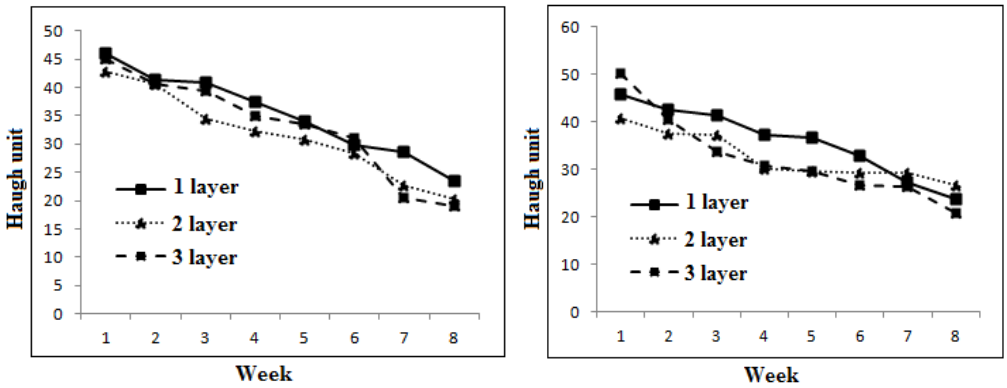
ภาพที่ 4.11 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy

ตารางที่ 4.8 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy

สัปดาห์	50 kGy			70 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	46.10 (5.82)	42.90 (3.97)	45.03 (8.72)	45.80 (2.31)	40.90 (0.77)	50.08 (5.31)
2	41.44 (2.61)	40.60 (7.82)	40.60 (5.10)	42.53 (0.07)	37.60 (2.92)	40.50 (1.95)
3	40.90 (5.43)	34.40 (0.59)	39.40 (6.12)	41.50 (3.87)	37.30 (3.81)	33.60 (4.63)
4	37.50 (1.82)	32.37 (5.35)	34.90 (4.39)	37.20 (2.11)	30.24 (2.79)	30.80 (1.88)
5	33.90 (1.03)	30.90 (5.09)	33.50 (2.50)	36.60 (2.68)	29.60 (2.75)	29.50 (4.19)
6	29.78 (9.75)	28.37 (0.21)	31.07 (1.59)	32.95 (1.92)	29.39 (1.01)	26.64 (7.12)
7	28.71(0.38)	22.81 (3.65)	20.52 (5.26)	27.26 (0.19)	29.30 (4.27)	26.50 (3.56)
8	23.34 (3.98)	20.25 (2.84)	19.14 (3.16)	23.78 (1.68)	26.81 (2.32)	20.77 (1.76)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์



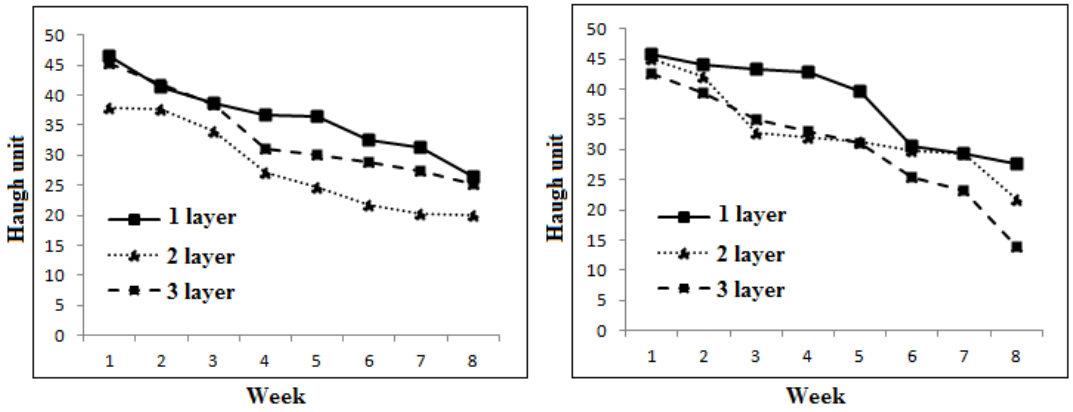
ภาพที่ 4.12 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy

ตารางที่ 4.9 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy

สัปดาห์	90 kGy			100 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	46.40 (2.94)	37.90 (1.54)	45.30 (4.22)	45.80 (8.44)	45.10 (0.67)	42.50 (5.58)
2	41.30 (2.61)	37.60 (3.70)	41.80 (0.36)	44.10 (7.37)	42.20 (2.56)	39.50 (2.06)
3	38.71 (0.76)	33.90 (3.86)	38.50 (8.84)	43.40 (7.27)	32.90 (6.56)	34.90(10.33)
4	36.80 (2.18)	27.20 (2.36)	31.10 (1.10)	42.80 (0.28)	32.10 (0.17)	33.10 (0.10)
5	36.50 (2.29)	24.61 (0.02)	30.10 (8.36)	39.54 (7.26)	31.20 (1.73)	30.95 (3.44)
6	32.50 (2.55)	21.70 (2.89)	28.92 (3.52)	30.47 (8.43)	29.90 (1.25)	25.50 (6.61)
7	31.32 (3.35)	20.36 (2.59)	27.40 (7.80)	29.23 (3.50)	29.31 (8.81)	23.20 (1.49)
8	26.50 (2.43)	20.09 (3.50)	25.27 (6.54)	27.70 (8.85)	21.81 (2.43)	13.97 (2.80)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์



ภาพที่ 4.13 ค่าความสดของไข่ไก่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy

4.6 ผลของการเคลือบไคโตซานต่อค่า pH ของ albumen ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

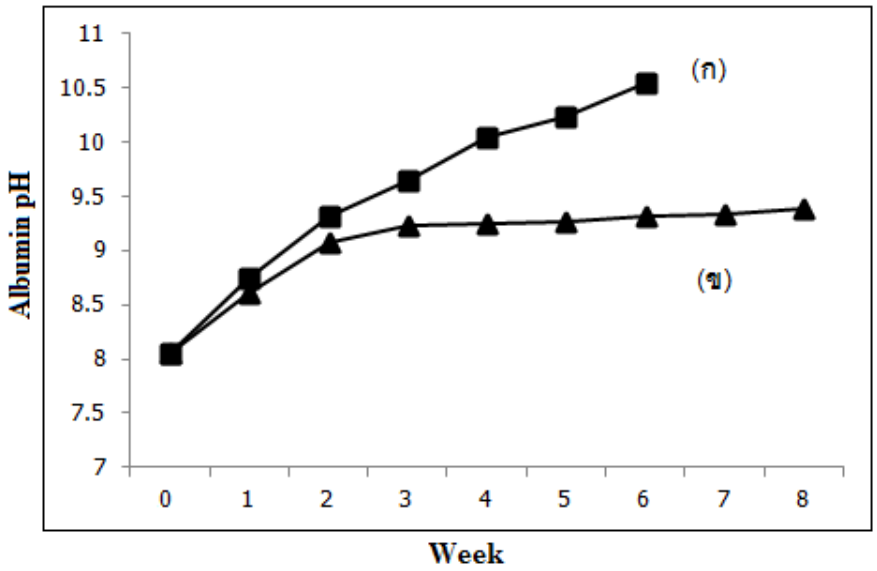
จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าไข่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานเมื่อเก็บไว้นานจะมีความเป็นด่างมากขึ้น ซึ่งเร็วกว่าไข่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน เพราะในระหว่างที่เก็บ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไข่จะระเหยออก ทำให้ไข่มีฤทธิ์เป็นด่างมากขึ้น โดยไข่ไก่สดอายุ 1 วันมีค่า pH เท่ากับ 8.05 แต่เมื่อ 3 สัปดาห์ผ่านไปพบว่า pH ของไข่เพิ่มขึ้นเป็น 9.64 สำหรับไข่ที่ไม่เคลือบไคโตซานและ 8.95 สำหรับไข่ที่เคลือบไคโตซานตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามไข่ที่เคลือบด้วยไคโตซานยังสามารถเก็บไว้ถึง 8 สัปดาห์โดยที่ pH เพิ่มขึ้นเป็น 9.38 ในขณะที่ไข่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซานนั้นแค่สัปดาห์ที่ 3 ก็เริ่มมีกลิ่นเหม็น และในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าไข่ได้เน่าเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์เติบโตได้ดีเมื่อ pH สูงขึ้น ส่วนไข่ที่เคลือบด้วยไคโตซานมีคุณภาพที่ดีที่ยอมรับได้ที่ 6 สัปดาห์ เพราะไข่ที่ 8 สัปดาห์มีกลิ่นคล้ายกับจะเน่าเสีย ดังแสดงในตารางที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 และภาพที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 ของการเคลือบด้วยไคโตซานที่ 1, 2 และ 3 ชั้นตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน และไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy)

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน	8.05	8.74	9.31	9.64	10.05	10.23	10.54	-*	-*
ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน	8.05	8.61	9.08	9.23	9.25	9.27	9.32	9.34	9.38

หมายเหตุ -* pH > 10

- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์

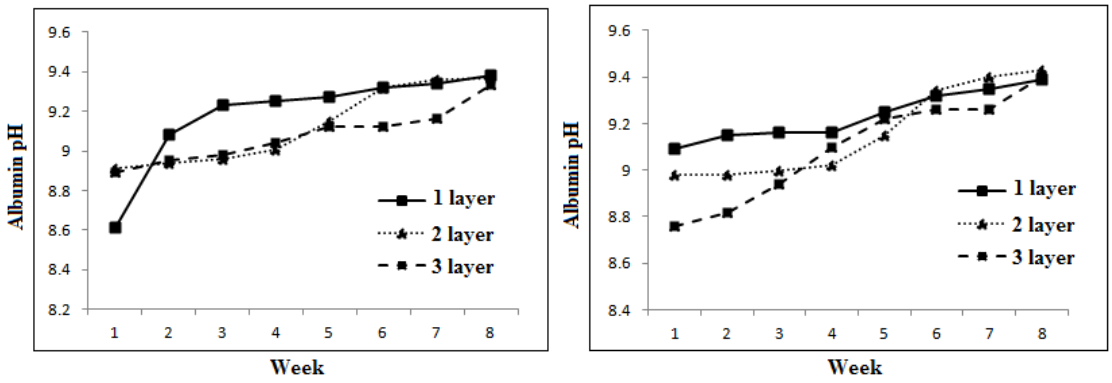


ภาพที่ 4.14 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับ (ก) ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน (ข)ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (ฉายรังสีที่ 10 kGy)

ตารางที่ 4.11 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy

สัปดาห์	10 kGy			30 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	8.61 (0.70)	8.91 (0.42)	8.89 (0.17)	9.09 (0.04)	8.98 (0.14)	8.76 (0.15)
2	9.08 (0.01)	8.94 (0.02)	8.95 (0.31)	9.15 (0.01)	8.98 (0.13)	8.82 (0.04)
3	9.23 (0.05)	8.96 (0.19)	8.98 (0.11)	9.16 (0.03)	9.00 (0.01)	8.94 (0.21)
4	9.25 (0.01)	9.01 (0.21)	9.04 (0.26)	9.16 (0.06)	9.02 (0.04)	9.10 (0.08)
5	9.27 (0.08)	9.15 (0.02)	9.12 (0.14)	9.25 (0.09)	9.15 (0.07)	9.22 (0.04)
6	9.32 (0.07)	9.32 (0.01)	9.12 (0.13)	9.32 (0.04)	9.34 (0.01)	9.26 (0.08)
7	9.34 (0.09)	9.36 (0.08)	9.16 (0.02)	9.35 (0.02)	9.40 (0.01)	9.26 (0.07)
8	9.38 (0.03)	9.37 (0.19)	9.33 (0.01)	9.39 (0.05)	9.43 (0.04)	9.40 (0.03)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)
- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์

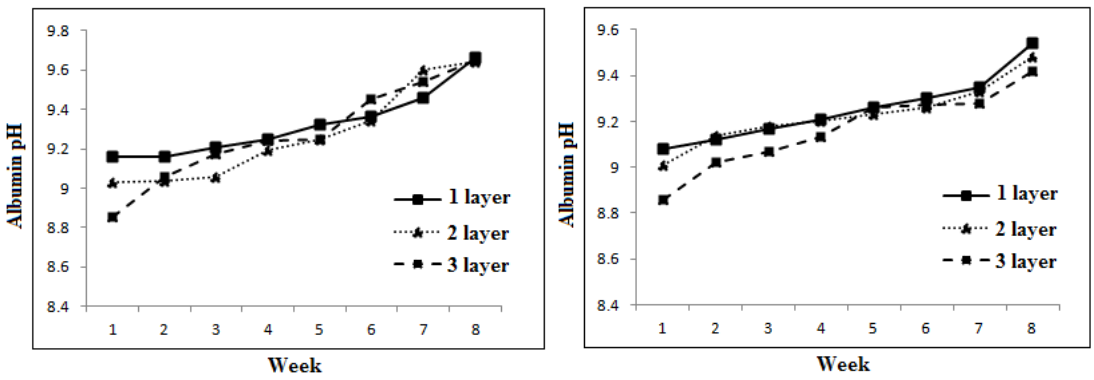


ภาพที่ 4.15 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 10 และ 30 kGy

ตารางที่ 4.12 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy

สัปดาห์	50 kGy			70 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	9.16 (0.05)	9.03 (0.09)	8.85 (0.17)	9.08 (0.02)	9.01 (0.07)	8.86 (0.08)
2	9.16 (0.07)	9.04 (0.10)	9.06 (0.02)	9.12 (0.01)	9.14 (0.10)	9.02 (0.04)
3	9.21 (0.01)	9.06 (0.06)	9.17 (0.06)	9.17 (0.01)	9.18 (0.12)	9.07 (0.23)
4	9.25 (0.03)	9.19 (0.12)	9.24 (0.08)	9.21 (0.03)	9.20 (0.05)	9.13 (0.03)
5	9.32 (0.03)	9.25 (0.19)	9.25 (0.01)	9.26 (0.04)	9.23 (0.06)	9.26 (0.06)
6	9.36 (0.04)	9.34 (0.02)	9.45 (0.03)	9.30 (0.02)	9.26 (0.02)	9.27 (0.05)
7	9.46 (0.05)	9.6 (0.09)	9.54 (0.11)	9.35 (0.07)	9.33 (0.05)	9.28 (0.07)
8	9.66 (0.02)	9.64 (0.07)	9.65 (0.16)	9.54 (0.07)	9.48 (0.01)	9.42 (0.01)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)
- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์

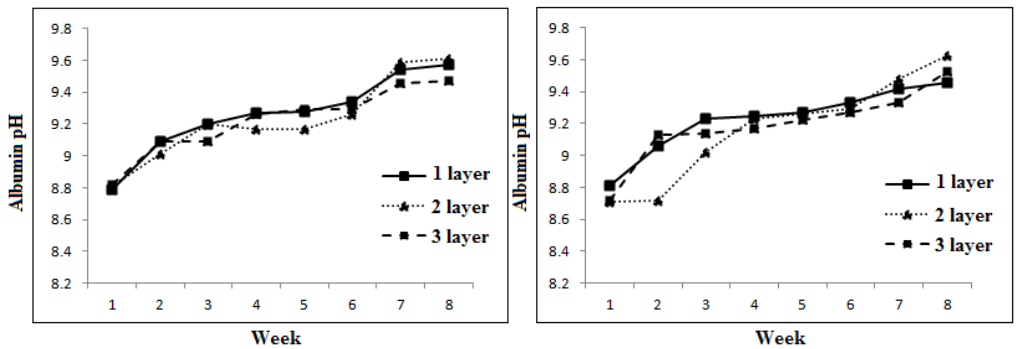


ภาพที่ 4.16 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 50 และ 70 kGy

ตารางที่ 4.13 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy

สัปดาห์	90 kGy			100 kGy		
	ชั้นความหนา			ชั้นความหนา		
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น
1	8.79 (0.11)	8.81 (0.01)	8.82 (0.01)	8.81 (0.20)	8.71 (0.02)	8.72 (0.07)
2	9.09 (0.03)	9.01 (0.03)	9.09 (0.21)	9.06 (0.01)	8.72 (0.03)	9.13 (0.02)
3	9.20 (0.01)	9.20 (0.07)	9.09 (0.10)	9.23 (0.20)	9.02 (0.02)	9.14 (0.04)
4	9.27 (0.02)	9.17 (0.07)	9.26 (0.02)	9.25 (0.09)	9.23 (0.01)	9.17 (0.04)
5	9.28 (0.03)	9.17 (0.10)	9.29 (0.07)	9.27 (0.01)	9.26 (0.77)	9.22 (0.11)
6	9.34 (0.10)	9.26 (0.16)	9.29 (0.04)	9.33 (0.01)	9.29 (0.03)	9.27 (0.02)
7	9.54 (0.02)	9.59 (0.02)	9.46 (0.15)	9.42 (0.04)	9.48 (0.04)	9.33 (0.08)
8	9.57 (0.07)	9.61 (0.01)	9.47 (0.08)	9.46 (0.01)	9.63 (0.07)	9.53 (0.04)

หมายเหตุ - ค่าในวงเล็บ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)
- จำนวนไข่ที่ตอก 9 ฟอง/ชั้น/สัปดาห์

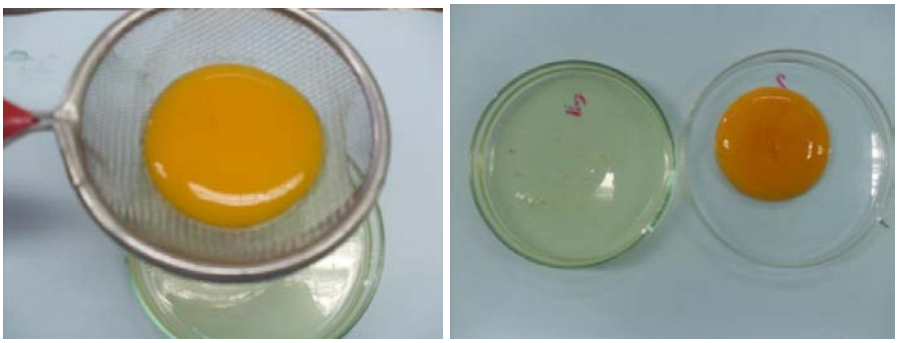


ภาพที่ 4.17 pH ของไข่ขาวที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความหนา 1, 2 และ 3 ชั้น โดยไคโตซานฉายรังสีที่ 90 และ 100 kGy

4.7 ผลการแยกกันของไข่ขาวและไข่แดง น้ำหนักของไข่ขาวและไข่แดง

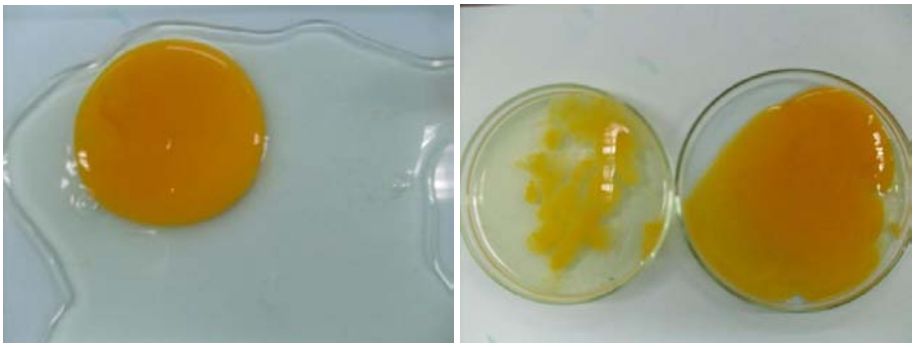
การแยกกันของไข่ขาวและไข่แดงที่ได้จากการเคลือบเปลือกไข่ด้วยไคโตซานพบว่าสามารถแยกออกจากกันได้ง่ายในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 4 โดยที่ไข่แดงยังกลมนูนและไม่แตก ดังแสดงในภาพที่ 4.18 แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นไปพบว่าไข่ขาวกับไข่แดงแยกออกจากกันไม่ได้และไข่แดงแตกง่ายเนื่องจากน้ำในไข่ขาวได้แพร่เข้าไปในไข่แดงทำให้เยื่อหุ้มไข่แดงฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 4.19

น้ำหนักของไข่ขาวและไข่แดงในสัปดาห์ที่ 1 ถึง 4 พบว่าน้ำหนักไข่ขาวจะอยู่ในช่วง 30 ถึง 35 กรัม และน้ำหนักของไข่แดงอยู่ในช่วง 14 ถึง 20 กรัม



(ก) **(ข)**

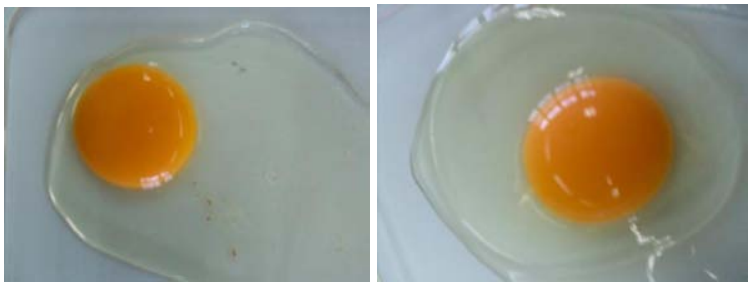
ภาพที่ 4.18 การแยกกันของไข่ขาวกับไข่แดงที่ 4 สัปดาห์สำหรับ (ก) แยกไข่ด้วยกระชอน (ข) ไข่ขาวไข่แดงที่แยกออกจากกัน



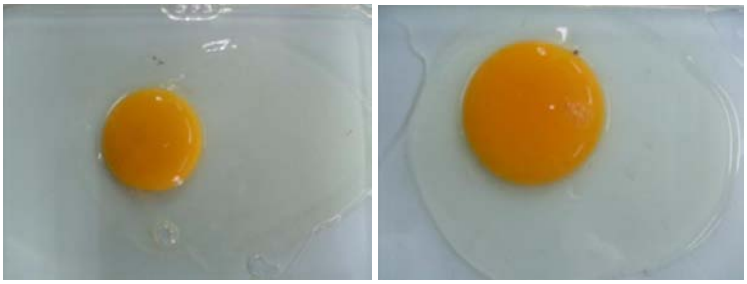
(ก) **(ข)**

ภาพที่ 4.19 การแยกกันของไข่ขาวกับไข่แดงที่ 5 สัปดาห์สำหรับ (ก) ลักษณะไข่เมื่อตอก (ข) ไข่ขาวไข่แดงที่แยกออกจากกัน

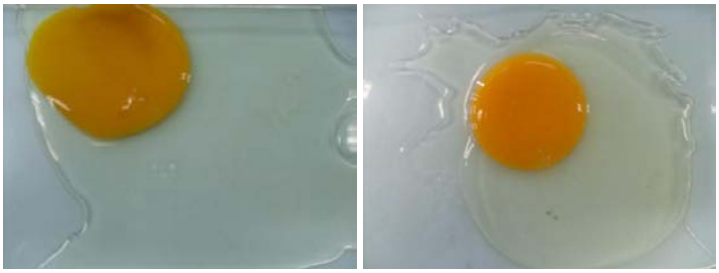
ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน ไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน



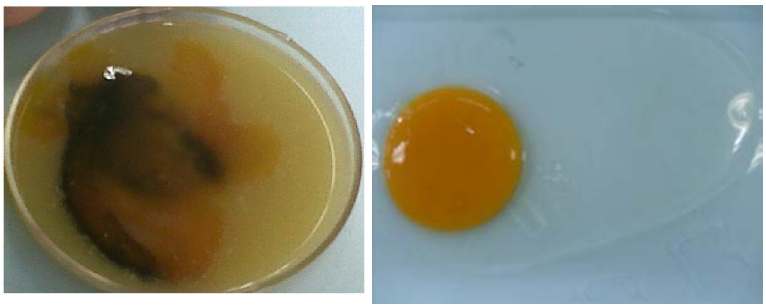
1 สัปดาห์



2 สัปดาห์

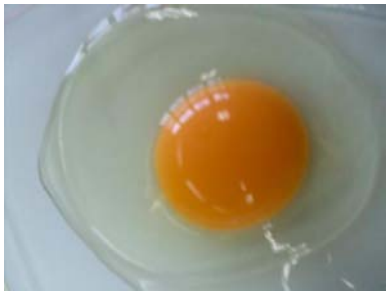


3 สัปดาห์

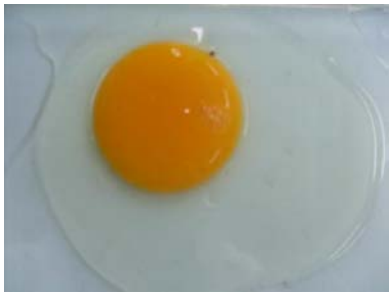


4 สัปดาห์

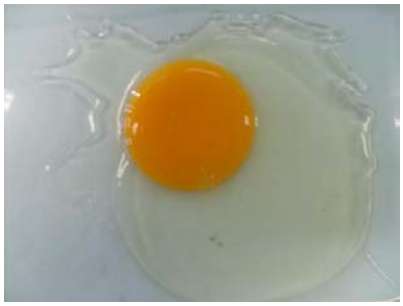
ภาพที่ 4.20 ลักษณะของไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานและไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 10 กิโลเกรย์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ที่ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์



1 **สัปดาห์**



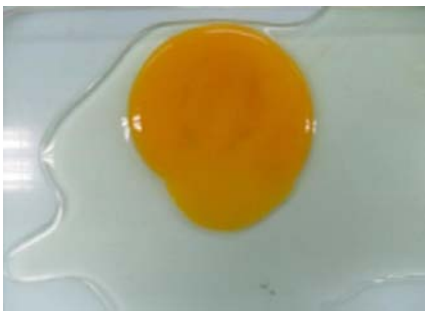
2 **สัปดาห์**



3 **สัปดาห์**

4 **สัปดาห์**

5 **สัปดาห์**



6 **สัปดาห์**

7 **สัปดาห์**

8 **สัปดาห์**

ภาพที่ 4.21 ลักษณะของไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ฉายรังสีที่ 10 กิโลเกรย์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 สัปดาห์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการฉายรังสีต่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการลดน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมา ที่ได้จากไอโซโทปรังสีโคบอลต์-60 ในรูปแบบของของแข็งสามารถทำได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว และที่ปริมาณรังสี 10, 30, 50, 70, 90 และ 100 กิโลเกรย์ ที่อัตราความแรงรังสี 10 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง โดยที่โครงสร้างหลักของไคโตซานไม่เปลี่ยนแปลง

5.1.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลกับการเคลือบไข่ไก่

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าไคโตซาน ที่ได้จากการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ สามารถเคลือบและยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่ที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 6 สัปดาห์ โดยที่คุณภาพความสดของไข่ยังอยู่ในระดับชั้นคุณภาพบี โดยที่ pH ของไข่ขาวและการสูญเสียน้ำหนัก อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซาน ซึ่งความหนาในการเคลือบเพียงชั้นเดียวก็เพียงพอ ทำให้สามารถเก็บไข่ไว้บริโภคได้นานขึ้นโดยที่ไม่ต้องแช่ตู้เย็น

5.1.3 การสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีมีการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าไข่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานที่ระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยที่ไคโตซานที่ฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ได้ดีที่สุด ดังนี้ 1.85 (0.85), 4.53 (0.25), 5.13 (0.51), 8.83 (0.08), 9.04 (1.75) และ 9.50 (2.26) เปอร์เซ็นต์ สำหรับ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 สัปดาห์ตามลำดับ

5.1.4 ค่าความสดของไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีมีค่าความสดของไข่ไก่ในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าไข่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานที่ระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยไคโตซานที่ฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ มีค่าความสดของไข่ไก่ที่คุณภาพดีที่สุด ดังนี้ 51.00 (0.36), 43.28 (3.53), 37.70 (3.53), 37.47 (4.51), 36.75 (4.84)และ

36.50 (1.94) สำหรับ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 สัปดาห์ตามลำดับ ซึ่งพบว่าคุณภาพของไข่ไก่ยังอยู่ในระดับชั้นคุณภาพบี ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 35-51

5.1.5 pH ของไข่ขาว

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ได้จากการฉายรังสีค่า pH ของไข่ขาวในระหว่างการเก็บรักษามีการเพิ่มขึ้นตามน้อยกว่าไข่ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานที่ระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยที่ไคโตซานที่ฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ มีค่า pH ของไข่ขาว ดังนี้ 8.61 (0.70), 9.08 (0.01), 9.23 (0.05), 9.25 (0.01), 9.27 (0.08) และ 9.32 (0.07) สำหรับ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 สัปดาห์ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ผล pH ของไข่ขาวของไข่ไก่ มีผลจากการเลี้ยง อุณหภูมิ และอายุแม่ไก่ ซึ่งจากการทดลองพบว่า pH ไข่ขาวของไข่สดมีค่าเท่ากับ 8.05 เนื่องจากเป็นไข่ที่ได้จากแม่ไก่อายุมากแล้วประมาณ 28 สัปดาห์ ซึ่งปกติแล้วไข่ไก่สดที่ได้จากแม่ไก่อายุน้อยจะมีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 7.5-8.5 มีความเป็นด่างเล็กน้อย

ผลการเคลือบไข่ไก่ด้วยไคโตซานที่ 1, 2 และ 3 ชั้น ที่ได้จากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันต่อร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ ค่าความสด และ pH ของไข่ขาว ซึ่งอาจเป็นผลจากการเคลือบโดยการจุ่มแช่ เนื่องจากไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรดเจือจาง อาจทำให้ไคโตซานที่เคลือบไว้ในชั้นแรกหลุดออกได้ จึงทำให้ผลการเคลือบที่ 2 และ 3 ชั้น ไม่มีผลแตกต่างจากการเคลือบหนึ่งชั้น

เนื่องจากการทดลองนี้ได้ทดลองเก็บไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซานไว้ที่อุณหภูมิสูง (30 องศาเซลเซียส) จึงทำให้มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของไข่และ pH ของไข่ขาวสูงกว่า ในขณะที่ค่าความสดของไข่ก็น้อยกว่างานวิจัยอื่นๆที่ทดลองในอุณหภูมิที่ควบคุมได้ที่ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมินั้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของไข่ดังแสดงในรายงานของ Samli, H.E. และคณะ (2005) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาไข่ไก่คือ 4-5 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการนำงานวิจัยนี้ไปศึกษาต่อในขั้นตอนของการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลต่อไข่ไก่

5.3.2 ในการทดลองนี้ได้ใช้ความเข้มข้นของไคโตซานเพียงความเข้มข้นเดียวเท่านั้นในการเคลือบไข่ไก่ ซึ่งควรมีการศึกษาที่ความเข้มข้นอื่นๆด้วย

5.3.3 ควรทดลองเคลือบไข่ไก่ด้วยไคโตซานที่ไม่ได้ฉายรังสี

5.3.4 ในการทดลองนี้ได้ใช้วิธีการเคลือบไข่ไก่ด้วยไคโตซานโดยการจุ่มแช่ ซึ่งอาจทำการเคลือบโดยวิธีอื่นๆได้ เช่น การฉีดพ่น เป็นต้น

5.3.5 ควรหาการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่นำมาทดลอง (molecular weight degree of dispersion)

5.3.6 ควรศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคในเรื่องของกลิ่น และรสชาดของไข่ไก่ที่เคลือบด้วยไคโตซาน

5.3.7 งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์หรือถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ไข่ต่อไป

รายการอ้างอิง

ชนิตา เรืองผัน. การหาน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมของไคโตซานในการเร่งการเจริญเติบโตของพืชโดยวิธีฉายรังสีแกมมาร่วมกับวิธีทางเคมี, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ธนาภรณ์ ศรีศิริพันธุ์, จำนง อุทัยบุตร และกอบเกียรติ แสงนิล. ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อคุณภาพทางกายภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลพริกหวาน. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 38, 5 (พิเศษ) : 87-90.

นิรมล สันติภาพวิวัฒนา และ เนตรา สมบูรณ์แก้ว. ผลของสารเคลือบผิวไคโตซานต่อคุณภาพสับปะรดพันธุ์ภูแล. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 38, 5 (พิเศษ) : 111-114.

ภาณุวัฒน์ สรรพกุล. เคยู โอวาการ์ด : สารเคลือบไข่สดจากสตาร์ชข้าวเจ้า. ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณวิมล ปาสาณพันธ์ รังรอง ยกส้าน และสุวบุญ จิรชาญชัย. การลดมวลโมเลกุลของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมา, วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

อัธยา กังสุวรรณ. ประโยชน์จากเปลือกสัตว์น้ำผลิต ไคโตซานพ่นเคลือบคงความสดผลไม้. ไทยรัฐ (3 มีนาคม 2546) : 7.

Bhale, S., No, H.K., Prinyariwatkul, W., Farr, A.J., Nadarajah, K., and Meyers, S.P. Chitosan Coating Improves Shelf Life of Eggs. J. Food Sci, 68 (2003) : 2378-2383.

Chien, P.J., Sheu, F., and Lin, H.R. Coating citrus (Murcott tangor) fruit with low molecular weigh chitosan increases postharvest quality and shelf life. Food Chemistry Volume 100, Issue 3 (2007) : 1160-1164.

Chmielewski, A.G., Migdal, W., Swietoslawski, J., Jakubaszek, U., and Tarnowski, T. Chemical-radiation degradation of natural oligoamino-polysaccharides for agricultural application. Radiation Physics and Chemistry 76(2007) :1840-1842.

Du, J., Gemma, H., and Iwahori, S. Effect of Chitosan Coating on the Storage of Peach, Japanese Pear, and Kiwifruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 66(1) (1997): 15-22.

Ismail, Z., Hazizan, M.A., and Azreena, M. Effect of ϒ-irradiation on the physical and mechanical properties of chitosan powder. Materials Science and Engineering C 29(2009) : 292-297.

Jiang, Y. Li,J and Jiang,W. Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambienttemperature. LWT 38 (2005) : 757–761.

Naeem, M., Hassan, A., Ahmed, M., and El-Sayed, A. Radiation-induced degradation of chitosan for possible use as a growth promoter in agricultural purposes. Carbohydrate Polymers 78(2010) : 555-562.

Samli, H.E., Agma, A., and Senkoylu, N. Effects of Storage Time and Temperature on Egg Quality in Old Laying Hens, J. Appl. Poult. Res.,14 (2005): 548-553.

Xian, D.L., Area, J., Dong, H.K., Bong, D.L., Mooha, L., and Cheorun, J. Effect of combination of chitosan coating and irradiation on physicochemical and functional properties of chicken egg during room-temperature storage. Radiation Physic and Chemistry, Volume 78, Issues 7-8, July-August (2009): 589-591.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณค่าการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่

$$\text{Weight loss}\,(\%) = \frac{\text{Initial egg weight}\,(g) - \text{Egg weight after storage}\,(g)}{\text{Initial egg weight}\,(g)} \times 100$$

ไข่ไก่สดน้ำหนัก 64.5246 กรัม เมื่อเก็บไว้ 1 สัปดาห์ หนัก 63.7153 กรัม หาน้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการเก็บรักษาได้โดยแทนค่าลงในสมการที่ (1)

$$\text{Weight loss}\,(\%) = \frac{64.5246\,\text{g} - 63.7153\,\text{g}}{64.5246\,\text{g}} \times 100$$

$$= \quad 1.25 \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความสดของไข่ไก่

ค่าความสดของไข่ไก่

ตอกไข่ไก่ 1 สัปดาห์ วัดความสูงของไข่ขาวเฉลี่ย 3.0 มิลลิเมตร น้ำหนักไข่ทั้งฟอง 63.7153 กรัม

$$HU = 100 \log (H-1.7 \times W^{0.37} +7.6)$$

เมื่อ H = ความสูงไข่ขาวเฉลี่ย (มิลลิเมตร)

W= น้ำหนักไข่ทั้งฟอง (กรัม)

แทนค่า $HU = 100 \log (3.0-1.7 \times 63.7153^{0.37} +7.6)$

$= 43.02$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุกัญญา ยาเสร็จ เกิดวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552 ได้รับทุนสนับสนุนในโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี