การยืดอายุการเก็บรักษาไข่เป็ดโดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา

นายกัตตพล ชมไพบูลย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Mr. Kattapol Chompaibool

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Nuclear Technology
Department of Nuclear Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การยืดอายุการเก็บรักษาไข่เป็ดโดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา
โดย	นายกัตตพล ชมไพบูลย์
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พงษ์แพทย์ เพ่งวาณิชย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. อุริช อัชชโคสิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กัตตพล ชมไพบูลย์ : การยืดอายุการเก็บรักษาไข่เป็ดโดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา (PROLONGING SHELF LIFE OF DUCK EGGS BY COATING WITH CHITOSAN PREPARED BY GAMMA IRRADIATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง, 56 หน้า.

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่สกัดได้จากเปลือกของสัตว์ทะเลเช่น ปู กุ้ง หรือหอย มีคุณสมบัติในการยับยั้งการคายน้ำและเชื้อแบคทีเรีย สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานได้ด้วยการฉายรังสีแกมมาทำให้เกิดตัดทอนพันธะทางเคมี โดยได้นำประยุกต์ใช้เป็นสารละลายในการเคลือบไข่เป็ดโดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้น 0.5% 1.0% 2.0% และ 5.0% w/v โดยแบ่งน้ำหนักโมเลกุลออกเป็น 823 668 377 130 36.7 และ 28.1 kDa (การทดลองที่สภาวะ 5.0% w/v มีเฉพาะสภาวะน้ำหนักโมเลกุล 130 36.7 และ 28.1 kDa เท่านั้น) โดยทำการละลายไคโตซานในกรดอะซิติก 1.0% v/v ให้ได้ความเข้มข้นตามสภาวะที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นนำไข่เป็ดมาเคลือบด้วยวิธีการชุบ แล้วปล่อยทิ้งไว้เพื่อเก็บค่าน้ำหนักคงเหลือและค่าฮอกยูนิตในแต่ละสัปดาห์ เป็นเวลาทั้งหมด 8 สัปดาห์ โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ 30 องศาเซลเซียส ผลการทดลองการชะลอน้ำหนักไข่เป็ดพบว่า ไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้น 5.0% ที่น้ำหนักโมเลกุล 28.1 kDa สามารถชะลอการสูญเสียน้ำได้ดีที่สุด ในขณะผลการวัดค่าฮอกยูนิตนั้นไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายที่ความเข้มข้น 1.0% ของทุกสภาวะน้ำหนักโมเลกุล (ยกเว้นที่น้ำหนักโมเลกุล 668 kDa) นั้นสามารถคงระดับชั้นคุณภาพ A ได้ดีในสัปดาห์แรก และลดระดับเหลือชั้นคุณภาพ B ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไป โดยความแตกต่างของค่าฮอกยูนิตเมื่อเทียบกับมาตรฐานชั้นคุณภาพแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของชั้นคุณภาพ และสามารถสรุปได้ว่าไข่เป็ดที่เคลือบสารละลายไคโตซานสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 5 สัปดาห์เมื่อเทียบกับไข่เป็ดที่ไม่ได้เคลือบ โดยวิเคราะห์ผลร่วมกับลักษณะทางกายภาพหลังการตอกซึ่งไข่แดงจะเริ่มกระจายตัวหลังสัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5570121621 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEYWORDS: CHITOSAN / GAMMA RADIATION / DUCKEGG / MOLECULARWEIGHT / PROLONGING / SHELFLIFE

KATTAPOL CHOMPAIBOOL: PROLONGING SHELF LIFE OF DUCK EGGS BY COATING WITH CHITOSAN PREPARED BY GAMMA IRRADIATION. ADVISOR: ASSOC. PROF. DOONYAPONG WONGSAWAENG, Ph.D., 56 pp.

Chitosan is a bio-polymer extracted from shrimp and crab shells. Effect of chitosan can be inhibit bacteria and decrease transpiration, which is decreasing the molecular weight with gamma irradiated. It is applied for bio-chemical solution for coating duck eggs. This thesis has study about effect of concentration and molecular weight of chitosan at concentration 0.5, 1.0, 2.0 and 5.0%, respectively. Molecular weight 823, 668, 377, 130, 36.7 and 28.1 kDa(5.0% concentration are only in molecular weight 130, 36.7 and 28.1 kDa), respectively. all of chitosan were solute in acetic acid 1.0% v/v and using dip method for coating the duck eggs and storage for 8 weeks at room temperature. The results showed the concentration 5.0% and molecular weigh 28.1 kDa is the best for reduce weight loss. Result for haugh unit measurement showed the concentration 1.0% and most of molecular weight can maintained the quality A grade in first week and reduce to B grade in second week. However, after second week the haugh unit were not different of significant in each conditions for changing quality grade. Summary, optimum time storage time of duck eggs is 5 weeks after coating with chitosan while the control can storage only 3 weeks.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Nuclear Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Nuclear Technology Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ช่วยแนะนำและให้คำปรึกษาแนวทางการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการการสอบ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล อาจารย์ ดร. พงษ์แพทย์ เพ่งวาณิชย์ และดร. อุริช อัชชโคสิต ผู้เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ช่วยตรวจสอบและเสนอแนะถึงการแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาคภูมิ เต็มเปี่ยม ผู้ให้คำปรึกษาด้านคณิตศาสตร์ในระหว่างการศึกษาและการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและบุคคลอันเป็นที่รัก คุณศักดิ์ชัย ชมไพบูลย์ คุณชุติมา ศังขวณิช และคุณณิชาภัทร ดิเรกวัฒนชัย ผู้ซึ่งให้กำลังใจมาโดยตลอดการเข้ารับการศึกษาและทำวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 1
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2
บทที่ 2 ทฤษฎี 8
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไข่เป็ด 8
2.1.1 ส่วนประกอบของไข่เป็ด 8
2.1.1.1 เปลือกไข่ (Shell) 8
2.1.1.2 เยื่อเปลือกไข่ (Shell Membrane) 8
2.1.1.3 โพรงอากาศ (Air Cell) 8
2.1.1.4 ไข่ขาว (Egg Albumen) 8
2.1.1.5 ไข่แดง (Yolk) 8
2.1.2 คุณภาพและขนาดตามมาตรฐานของไข่เป็ด 9
2.1.2.1 ข้อกำหนดขั้นต้น 9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.1.2.2 ข้อกำหนดชั้นคุณภาพ 10
2.1.2.3 ขนาดของไข่เป็ด 11
2.2 ความสดของไข่เป็ด 11
2.3 สารอาหารและคุณค่าทางโภชนาการ 12
2.4 ผลกระทบจากระยะเวลาที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาไข่ 13
2.4.1 การขยายตัวของโพรงอากาศ 13
2.4.2 ไข่ขาวมีความหนืดลดลง 13
2.4.3 การขยายตัวของไข่แดง 14
2.4.4 ไข่มีสภาวะเป็นด่างเพิ่มขึ้น 14
2.4.5 การแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์ 14
2.5 วิธีการเก็บรักษาไข่ 14
2.5.1 การกำหนดสภาวะการเก็บรักษา 14
2.5.2 การเคลือบผิวเปลือกไข่ด้วยน้ำมันแร่ 15
2.5.3 การล้างไข่ด้วยน้ำอุ่น 15
2.5.4 การแช่แข็งไข่ 15
2.5.5 การแปรรูปไข่ 15
2.5.5.1 ไข่ผง 15
2.5.5.2 ไข่เค็ม 15
2.5.5.3 ไข่เยี่ยวม้า 15
2.6 ไคโตซาน 16
2.7 การย่อยสลายโครงสร้างพันธะพอลิเมอร์ของไคโตซานด้วยรังสี 17
2.7.1 การย่อยสลายโมเลกุล (Degradation) 17
2.7.2 การเชื่อมโยงข้ามพันธะ (Cross-Linking) 17

หน้า

2.7.3 การต่อกิ่ง (Grafting) 17
2.8 การวิเคราะห์น้ำหนักและโครงสร้างโมเลกุล 18
2.8.1 การหาน้ำหนักโมเลกุล 18
2.8.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล 19
บทที่ 3 อุปกรณ์และขั้นตอนการวิจัย 20
3.1 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย 20
3.2 รายการสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย 21
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 21
3.3.1 การลดขนาดโมเลกุลไคโตซานด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมา 21
3.3.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธี Gel Permeation Chromatography 22
3.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectrometry 22
3.3.4 การเตรียมสารละลายไคโตซานสำหรับดำเนินการวิจัย 22
3.3.5 การเตรียมและการเคลือบไข่เป็ดด้วยสารละลายไคโตซาน 24
3.3.6 การเก็บข้อมูลน้ำหนักของไข่เป็ดและการวัดความสูงของไข่ขาว 27
3.3.7 การประมวลผลข้อมูลน้ำหนักไข่คงเหลือและการคำนวณค่าความสดไข่เป็ด 28
3.3.8 การเตรียมการวัดเชื้อแบคทีเรียแบบ Total Plate Count 28
บทที่ 4 ผลการวิจัย 29
4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 29
4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลไคโตซานหลังผ่านการฉายรังสี 29
4.3 ผลการเปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือของไข่เป็ด 30
4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความสดของไข่เป็ดด้วยค่าฮอกยูนิต 35
4.5 ผลการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาว 44

หน้า

4.6 ผลการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ดหลังทำการตอก 45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 47
5.1 สรุปผลการวิจัย 47
5.1.1 ผลการลดน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีแกมมา 47
5.1.2 ผลการคงโครงสร้างโมเลกุลไคโตซานหลังได้รับรังสีแกมมา 47
5.1.3 ผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ด..... 47
5.1.4 ผลของน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ด 47
5.1.5 ผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อค่าความสดของไข่เป็ด..... 48
5.1.6 ผลของน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานต่อค่าความสดของไข่เป็ด..... 48
5.1.7 ลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ดหลังตอกในแต่ละสัปดาห์ 49
5.1.8 ผลการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาว 49
5.2 อภิปรายผลการวิจัย 50
5.2.1 ผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ด..... 50
5.2.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ด 50
5.2.3 ผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อค่าความสดของไข่เป็ด..... 51
5.2.4 ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อค่าความสดของไข่เป็ดเคลือบไคโตซาน..... 51
5.2.5 ลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ดและผลของเชื้อจุลินทรีย์ 51
5.3 ข้อเสนอแนะ 52
รายการอ้างอิง 53
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 56

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดขั้นต้นสำหรับไข่เป็ด 9

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดชั้นคุณภาพของไข่เป็ด 10

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดขนาดของไข่เป็ด 11

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อมูลโภชนาการระหว่างไข่ไก่และไข่เป็ดที่น้ำหนักเท่ากัน 12

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาวะไข่ที่ใช้ในการทดลองตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ 26

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยของไข่เป็ดระหว่างตัวควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60% 31

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยของไข่เป็ดระหว่างตัวควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60% 32

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยของไข่เป็ดระหว่างตัวควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60% 33

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยของไข่เป็ดระหว่างตัวควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60% 34

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60% 36

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60% 37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60% 38

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60% 39

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเกรดระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%..... 40

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเกรดระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%..... 41

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเกรดระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%..... 42

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเกรดระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%..... 43

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาวระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างๆ 44

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไข่เป็ดควบคุมเทียบกับไข่เป็ดที่เคลือบสารละลายไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุล 28.1 kDa ความเข้มข้น 5.0%..... 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไข่เป็ด 9

รูปที่ 2.2 โครงสร้างพันธะของไคโตซาน 16

รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมา (ต้นกำเนิดรังสีคือ Co-60)..... 21

รูปที่ 3.2 ไคโตซานผงที่ได้รับการฉายที่ปริมาณรังสี 0 10 30 50 70 และ 90 kGy ตามลำดับ..... 22

รูปที่ 3.3 สารละลายไคโตซาน 23

รูปที่ 3.4 ไคโตซานที่มวลโมเลกุลสูง (823 668 และ 377 kDa) ไม่ละลายที่ความเข้มข้น 5% (w/v)..... 23

รูปที่ 3.5 ฟาร์มเป็ดไข่ 24

รูปที่ 3.6 แผงไข่เป็ด..... 25

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเคลือบไข่เป็ดด้วยสารละลายไคโตซาน..... 25

รูปที่ 3.8 การเก็บรักษาไข่เป็ดระหว่างการทดลอง..... 25

รูปที่ 3.9 วิธีการชั่งน้ำหนักไข่เป็ด..... 27

รูปที่ 3.10 การวัดความสูงไข่ขาว 27

รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน..... 29

รูปที่ 4.2 Spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลไคโตซานด้วยเทคนิค FT-IR..... 30

รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v)..... 31

รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v)..... 32

รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v)..... 33

รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v)..... 34

รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v)..... 36

รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v)..... 37

รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v)..... 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v) 39

รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบเกรดของไข่ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v)..... 40

รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบเกรดของไข่ที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v)..... 41

รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบเกรดของไข่ที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v)..... 42

รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบเกรดของไข่ที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v)..... 43

รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาว 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ไข่เป็ดจัดว่าเป็นวัตถุดิบที่นิยมใช้ในการทำอาหารทั้งทางตรง เป็นเครื่องเคียง หรือแม้แต่แปรรูปมากที่สุดประเภทหนึ่ง นอกจากรสชาติที่น่าพึงพอใจรวมถึงกรรมวิธีการปรุงอย่างเรียบง่ายและรวดเร็วจนจัดว่าเป็นอาหารทางเลือกสำหรับหลายๆ คนแล้ว ตัวของไข่เป็ดเองนั้นก็ยังมีคุณประโยชน์ทางโภชนาการอีกมากมายที่เสริมให้ผู้คนเลือกที่จะรับประทานไข่เป็ดอีกด้วย ซึ่งไข่เป็ดจัดเป็นวัตถุดิบหนึ่งที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง โปรตีนที่ได้จากไข่เป็ดเป็นแหล่งของกรดอะมิโนหลายชนิดที่จำเป็นและมีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์โดยมีอยู่อย่างครบถ้วน และมีปริมาณที่เพียงพอต่อปริมาณที่ร่างกายมนุษย์ต้องการ คุณค่าทางโภชนาการของไข่เป็ดนั้นลดลงตลอดเวลานับตั้งแต่ออกจากตัวเป็ด สาเหตุเกิดจากผลจากของรูพรุนขนาดเล็กที่มีอยู่รอบๆ เปลือกไข่ โดยที่รูพรุนเหล่านี้สามารถทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนหรือซึมผ่านของก๊าซและความชื้นจากภายนอกเข้าสู่ภายในเปลือกไข่ได้ จึงเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ อันเป็นสาเหตุทำให้คุณค่าทางโภชนาการรสชาติและความถูกสุขลักษณะลดลง จึงเป็นที่มาของแนวที่คิดที่จะนำสารพอลิเมอร์ชีวภาพอย่างไคโตซานที่มีคุณสมบัติในการช่วยยับยังการคายน้ำและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือเชื้อรามาประยุกต์ใช้เพื่อจุดประสงค์ในการคงคุณค่าทางโภชนาการและคุณลักษณะที่ดีของไข่เป็ดเอาไว้ให้นานกว่าการเก็บรักษาแบบปกติ

จึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อศึกษาการชะลอการเสื่อมคุณค่าของไข่เป็ดสาหรับการคงไว้ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการและคุณลักษณะภายนอกที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าทางการค้าทางอ้อมอีกด้วย โดยการทดลองนี้ได้อาศัยสารละลายไคโตซานที่ผ่านการย่อยสลายพันธะพอลิเมอร์ด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างๆ และความเข้มข้นต่างๆ เป็นตัวแปรศึกษา สำหรับหาสภาวะที่ดีที่สุดในการชะลอการเสื่อมคุณค่าของไข่เป็ดเมื่อเทียบกับไข่เป็ดที่ไม่ได้รับการเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาไข่เป็ดโดยการเคลือบด้วยไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเหมาะสมจากการฉายรังสีแกมมา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมไคโตซานเพื่อใช้ในการเคลือบไข่เป็ดได้แก่ น้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้น

1.3.2 ประเมินระยะเวลาจากการเก็บรักษาไข่จากน้ำหนักและค่าฮอกยูนิต

1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับไคโตซานและคุณสมบัติของไข่เป็ดสำหรับการทดลอง

1.4.2 จัดเตรียมไคโตซานผงที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีต่างๆ และกรดอะซิติกสำหรับใช้ในการทดลอง

1.4.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับใช้สำหรับการทดลอง เช่น ถ้วยรองไข่ เครื่องชั่งน้ำหนัก เป็นต้น

1.4.4 ทำการละลายไคโตซานในกรดอะซิติก โดยแบ่งออกเป็นสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ และที่ค่าปริมาณรังสีต่างๆ

1.4.5 จัดเตรียมไข่เป็ดตามปริมาณที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลอง จากนั้นจึงนำมาทำความสะอาดแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

1.4.6 จุ่มไข่เป็ดเพื่อเคลือบสารละลายไคโตซานที่สภาวะต่างๆ แล้วนำไปตากให้แห้ง

1.4.7 ทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักของไข่เป็ด และสุ่มกะเทาะไข่เป็ดบางใบเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สภาวะต่างๆ และตัวควบคุมเป็นประจำทุกสัปดาห์

1.4.8 เปรียบเทียบน้ำหนักและลักษณะภายในระหว่างไข่เป็ดที่สภาวะต่างๆ กับตัวควบคุมในแต่ละสัปดาห์

1.4.9 วิเคราะห์ สรุปผลการทดลอง และเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นที่เหมาะสมของไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบไข่เป็ดให้มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Atif Islam, Tariq Yasin and Ihtesham ur Rehman (2013) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **“Synthesis of hybrid polymer networks of irradiated chitosan/poly(vinyl alcohol) for biomedical application”** โดยได้เน้นการศึกษาเรื่องโครงสร้างพันธะแบบไฮบริดจ์ของไคโต

ซานที่ได้จากกระบวนการฉายรังสีเพื่อลดขนาดโมเลกุลและการเปลี่ยนแปลงสมดุลของน้ำ โดยวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางวิศวกรรมเนื้อเยื่อและทางการแพทย์ต่อไป

2. ผศ.ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง และคณะ (2012) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **"การยับยั้งการขึ้นของเชื้อราแอสเปอร์จิลลัสบนถั่วลิสงโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน"** โดยได้นำเมล็ดถั่วลิสงมาทำการเคลือบสารละลายไคโตซานที่ความเข้ม 1 2 5 และ 10% (w/v) ตามลำดับ ซึ่งได้จากการผสมผงไคโตซานที่ปริมาณรังสีต่างๆ คือ 0 10 30 50 70 และ 90 kGy ตามลำดับ กับสารละลายกรดอะซิติก 2% (v/v) แล้วปรับ pH ให้เป็น 5.6 ถั่วลิสงที่ผ่านการเคลือบไคโตซานนั้นสามารถชะลอการขึ้นของเชื้อราได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบกับถั่วลิสงที่ไม่ได้รับการเคลือบด้วยไคโตซาน โดยที่สารละลายไคโตซานที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 5% ที่เตรียมจากไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีที่ 50 kGy โดยสามารถยืดอายุถั่วลิสงไม่ให้ขึ้นราได้นานถึง 32 วัน ในขณะที่ถั่วลิสงที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโตซานนั้นมีราเกิดขึ้นหลังวันที่ 16 แสดงให้เห็นว่าไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 50 kGy และมีความเข้มข้น 5% (w/v) สามารถยืดอายุถั่วลิสงออกไปได้เป็นสองเท่าจากปกติ

3. สุกัญญา ยาเสร็จ (2011) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง **"การยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่โดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา"** โดยใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีต่างๆ คือ 10 30 50 70 90 และ 100 kGy ที่ pH เท่ากับ 5.6 และนำไข่ไก่มาชุบ โดยแบ่งการชุบออกเป็น 1 2 และ 3 ชั้น ตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าไข่ที่ได้รับการชุบสารละลายไคโตซานที่ปริมาณรังสี 10 kGy สามารถยืดอายุการเก็บได้นานที่สุดถึง 6 สัปดาห์เมื่อเทียบกับไข่ไก่ที่ไม่รับการชุบ ซึ่งมีอายุเพียง 2 สัปดาห์เท่านั้น

4. S. Leleu et. al. (2009) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **"Selection of a chitosan type for eggshell coating to reduce salmonella shell contamination"** โดยทดลองการเคลือบเปลือกไข่ด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.25% มีค่า pH เท่ากับ 5.0 โดยสารละลายไคโตซานที่ใช้นี้มีขนาดโมเลกุลอยู่ระหว่าง 28,000-375,000 ดอลตัน ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 60% พบว่าสารละลายไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลระหว่าง 310,000-375,000 ดอลตัน มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ซาลโมเนลลาดีที่สุด

5. ธนาภรณ์ ศรีศิริพันธุ์ จำนง อุทัยบุตร และกอบเกียรติ แสงนิล (2007) ได้ทำการวิจัยในเรื่อง **"ผลการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อคุณภาพทางกายภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลพริกหวาน"** โดยในการทดลองได้มีการใช้พริกหวานพันธุ์ Torcal และ Gold Frame ทำการเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 และ 1.5% และเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้เคลือบ โดยทำการกำหนดสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 82% และใช้เวลา 15 วัน ผลการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นสารละลายไคโตซาน 1.0 และ 1.5% สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและการเหี่ยวของผลพริกทั้ง 2 พันธุ์ได้เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้ทำการเคลือบ หรือชุดที่เคลือบด้วยความเข้มข้น 0.5% ทั้งนี้ผลพริกชุดที่เคลือบด้วยความเข้มข้นสารละลายไคโตซาน 1.0 และ 1.5% ผลลัพธ์ของการสูญน้ำหนักและการเหี่ยวไม่มีความแตกต่างกันมากนักในทั้งสองความเข้มข้น

6. ชนิตา เรืองผัน (2006) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง **"การหาน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมของไคโตซานในการเร่งการเจริญเติบโตของพืชโดยวิธีฉายรังสีแกมมาร่วมกับวิธีทางเคมี"** โดยนำไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 100 kGy และละลายในกรดอะซิติก 2.5% เป็นสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 10% แล้วนำไปผ่านกระบวนการฉายรังสีอีกครั้งที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 20 40 60 70 และ 80 kGy ซึ่งจะได้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยคือ 68,000 26,000 12,000 8,000 และ 4,000 ดอลตันตามลำดับ สำหรับสารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุล 26,000 ดอลตันจะถูกนำไปแยกด้วยการตกตะกอนลำดับส่วนจนได้สารละลายที่มีขนาดโมเลกุลในช่วง 20,000 ดอลตัน ก่อนจะนำสารละลายทั้งหมดไปผสมกับปุ๋ยความเข้มข้น 200 ppm และนำไปทดสอบกับคะน้า ผักกาดหอม และผักโขม ใช้ระยะเวลาการปลูกทั้งหมด 26 วัน พบว่าคะน้าที่ได้รับสารละลายไคโตซานขนาดโมเลกุล 4,000 และ 8,000 ดอลตัน มีการเจริญเติบโตมากที่สุด (วัดจากความสูง) สารละลายไคโตซานที่ใช้กับผักกาดหอมได้ผลดีที่สุดที่ขนาดโมเลกุล 20,000 ดอลตัน และสารละลายไคโตซานที่ใช้กับผักโขมได้ผลดีที่สุดที่ขนาดโมเลกุล 8,000 และ 12,000 ดอลตัน ตามลำดับ

7. ยุวลักษณ์ ศิริพลบุญ (2005) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง **"ฟิล์มเคลือบบริโภคได้สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อทุเรียนหมอนทอง"** โดยทำการเปรียบเทียบฟิล์มที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์ชีวภาพ 2 ชนิดคือ ไคโตซานและเจลาติน ที่ผสมสารซอร์บิทอลแล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น ความทนแรงดึง การยืดตัว การแพร่ผ่านของไอน้ำ และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว โดยอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วอยู่ในระหว่าง -20 ถึง 5 องศาเซลเซียส มีความทน

แรงดึงของฟิล์มระหว่าง 2.40 - 13.74 เมกะปาสคาล การยืดตัวอยู่ที่ 99.8 - 216.68 % และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำที่ 1.7 - 4.4 x 10^{-10} กรัม-เมตรต่อพื้นที่-วินาที-ความดัน จากนั้นนำมาเคลือบเนื้อทุเรียน 1 กิโลกรัมแล้วเป่าแห้ง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้น 100% เป็นเวลาทั้งหมด 26 วัน พบว่าเนื้อทุเรียนที่ทำการเคลือบสารยืดอายุมีการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าเนื้อทุเรียนที่ไม่ได้รับการเคลือบ โดยองค์ประกอบส่วนผสมที่พบว่าให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือ มีสัดส่วนของเจลาติน 2% ไคโตซาน 1% และซอร์บิทอล 0.2% โดยน้ำหนัก ซึ่งช่วยให้สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อทุเรียนลง 36% และลดอัตราการหายใจลง 48.5% และลดการผลิตเอทิลีนลง 27.5%

8. นวลนภา เจริญรวย (2005) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง **“ ผลของแคลเซียมคลอไรด์และไคโตซานต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวฝักกระเจี๊ยบเขียว ”** ทำการทดลองโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0 0.10 0.25 0.50 0.75 1.00 2.00 3.00 และ 4.00 ppm และไคโตซานที่ความเข้มข้น 0 5 10 20 50 และ 100 ppm จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9 และ 18 องศาเซลเซียส โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.50 ppm สามารถรักษาลักษณะน้ำหนักและลักษณะทางกายภาพได้ ในขณะที่ความเข้มข้น 0.25 ppm นั้นสามารถรักษาความแน่นของเนื้อและสีของฝักได้ ส่วนไคโตซานความเข้มข้น 20 ppm สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ไคโตซานที่ความเข้มข้น 5 และ 10 ppm สามารถรักษาน้ำหนักของฝักรวมถึงยับยั้งการคุกคามของโรคได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์หรือไคโตซานเพียงอย่างเดียวให้ผลดีกว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์และไคโตซานร่วมกัน

9. Pradip Kumar Dutta, Joydeep Dutta and V S Tripathi (2004) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **“Chitin and chitosan: Chemistry, properties and application”** โดยได้ศึกษาปฏิกิริยาทางเคมีและอนุพันธ์หมู่ฟังก์ชั่นชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับสารพอลิเมอร์ประเภทไคตินและไคโตซาน ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ถึงประโยชน์รูปแบบต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมและชีวเคมีต่างๆ ในเชิงพาณิชย์

10. วรรณวิมล ปาสาณพันธ์ รังรอง ยกส้าน และสุวบุญ จิรชาญชัย (2004) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **"การลดมวลโมเลกุลของไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมา"** โดยทำการนำไคโตซานมาฉายรังสีแกมมาโดยแยกฉายในปริมาณรังสีหลายระดับ มากที่สุดอยู่ที่ 160 kGy พบว่าขนาดโมเลกุลของไคโตซานลดลงจากช่วง 650,000 – 1,200,000 ดอลตัน เหลือ 100,000 ดอลตัน โดยที่สภาพของโครงสร้างพันธะหลักยังคงเดิม และพบว่าเมื่อฉายรังสีปริมาณ 50 kGy แก่ไคโตซานเกล็ดในสภาพของแข็ง และไคโตซานเกล็ดในสภาพกระจายตัวในน้ำ การลดลงของโมเลกุลระดับเดียวกันสามารถทำได้ด้วยการฉายรังสีปริมาณเพียง 20 kGy เมื่อมีตัวเริ่มปฏิกิริยาแรดิคัล (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) อยู่ในระบบซึ่งความไวต่อปฏิกิริยาของไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 50-60% โดยดูจากปฏิกิริยาการต่อเข้ากับคาร์บอนิลไดอิมิดาโซลายด์ และกรณีของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติก พบว่าโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการฉายรังสีมีการเปลี่ยนแปลงด้วย

11. Le Hai et. al. (2003) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **"Radiation depolymerization of chitosan to prepare oligomers"** โดยได้ทำการทดลองฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างกันใส่ไคโตซานโดยตรง และใช้วิธีวิเคราะห์ค่าการเสื่อมสลายด้วยวิธี Gel Permeation Chromatography โดยค่าการเสื่อมสลายมีค่าเท่ากับ 0.9 และ 1.8 สำหรับไคโตซานประเภท 10B และ 8B ตามลำดับ ซึ่งไคโตซานที่ถูกลดน้ำหนักโมเลกุลนี้จะถูกนำไปทำละลายในเมทานอลผสมสารละลายอะซีโตนและน้ำ และนำไปวัดผลทางชีวภาพโดยทดสอบกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา Aspergillus nidulans ซึ่งพบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 20,000 ดอลตัน สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราดังกล่าวได้ และมีเพียงที่น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 800 ดอลตันเท่านั้นที่พบว่าเชื้อรามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

12. Xi-Guang et al. (2002) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **"Molecular Affinity and Permeability of Different Molecular Weight Chitosan Membranes"** โดยได้ศึกษาผลความสัมพันธ์ระหว่างการซึมผ่านของสารประเภทต่างๆคือ โซเดียมคลอไรด์ กลูโคสซายน์ และโปรตีนเซรั่ม ผ่านเยื่อไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน ภายใต้สภาวะการทดลองที่ 4 และค่า pH เท่ากับ 7 โดยพบว่าผลการซึมผ่านของสารประเภทต่างๆแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุล

13. H. K. No et al. (2001) ได้ทำการวิจัยเรื่อง **“Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights”** ซึ่งได้ทำการศึกษาและทดลองการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยไคโตซานและโอลิโกไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน โดยใช้เชื้อแบคทีเรียแกรมลบ 4 ชนิดคือ Escherichia coli Pseudomonas fluorescens Salmonella typhimurium และ Vibrio parahaemolyticus แบคทีเรียแกรมบวก 7 ชนิดคือ Listeria monocytogenes Bacillus megaterium B. cereus Staphylococcus aureus Lactobacillus plantarum L. brevis และ L. bulgaricus โดยพบว่าผลการต้านเชื้อของไคโตซานนั้นมีประสิทธิภาพกว่าโอลิโกไคโตซาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับแบคทีเรียแกรมบวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไข่เป็ด

ไข่เป็ด หรือในชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Anas platyrhucus [1] เป็นผลผลิตที่ได้จากแม่เป็ด โดยมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกลมรี โดยองค์ประกอบของไข่เป็ดนั้นประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.1

2.1.1 ส่วนประกอบของไข่เป็ด

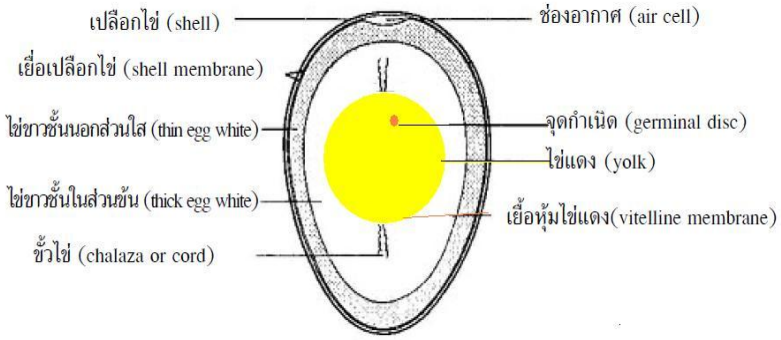
2.1.1.1 เปลือกไข่ (Shell) ไข่เป็ดนั้นมีเปลือกสีขาว มีองค์ประกอบทางเคมี ส่วนมากกว่า 96.5% เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต [2] ($CaCO_3$) องค์ประกอบส่วนที่เหลือเป็นแมกนีเซียม โพแทสเซียม กำมะถัน และฟอสฟอรัส ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนประกอบภายในอย่างไข่ขาวและไข่แดง

2.1.1.2 เยื่อเปลือกไข่ (Shell Membrane) เยื่อเปลือกไข่อยู่ซ้อนอยู่ใต้เปลือกไข่ แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคือ เยื่อชั้นในและเยื่อชั้นนอก [3] ทำหน้าที่ป้องกันการแพร่ของเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ภายใน

2.1.1.3 โพรงอากาศ (Air Cell) โพรงขนาดเล็กที่อยู่ในด้านป้านของไข่ เป็นส่วนที่แบ่งเยื่อชั้นในและเยื่อชั้นนอกออกจากกัน [3] โพรงส่วนนี้สามารถขยายขึ้นได้เมื่อเวลาผ่านไป โดยขนาดของโพรงนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณของน้ำที่ระเหยออกไปจากไข่

2.1.1.4 ไข่ขาว (Egg Albumen) ส่วนของเหลวข้นภายใต้ชั้นเปลือกไข่ แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของเหลวใสที่อยู่ติดกับเยื่อชั้นใน และส่วนของเหลวข้นที่อยู่ถัดเข้ามาซึ่งเป็นของเหลวส่วนที่ติดกับไข่แดง องค์ประกอบส่วนใหญ่ของไข่ขาวคือ โปรตีนและน้ำ มีไขมันปนอยู่เล็กน้อย [3]

2.1.1.5 ไข่แดง (Yolk) ส่วนของเหลวที่ลอยอยู่ชั้นในสุด ส่วนนอกล้อมรอบด้วยไข่ขาว ความเข้มข้นของไข่แดงมีมากกว่าไข่ขาว [3] เพราะมีองค์ประกอบของน้ำน้อยกว่า มีองค์ประกอบที่เป็นโปรตีนและไขมันมากกว่าส่วนของไข่ขาว มีสีเหลือง ส้ม หรือแดง ขึ้นกับอาหารที่แม่เป็ดกิน



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไข่เป็ด

2.1.2 คุณภาพและขนาดตามมาตรฐานของไข่เป็ด

คุณภาพและขนาดของไข่เป็ดถูกกำหนดโดยสำนักงานมาจรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยแบ่งออกเป็นข้อกำหนดขั้นต้น ข้อกำหนดขั้นคุณภาพ และขนาด

2.1.2.1 ข้อกำหนดขั้นต้น [1] สามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อยจากคุณลักษณะภายนอกและคุณลักษณะ โดยแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดขั้นต้นสำหรับไข่เป็ด

คุณลักษณะภายนอก	คุณลักษณะภายใน
1. เป็นรูปรี ด้านหนึ่งมีลักษณะป้าน และอีกด้านหนึ่งมีลักษณะแหลมมน	1. ไม่มีรอยร้าวภายในเมื่อตรวจด้วยการส่องไข่
2. เปลือกมีสีปกติตามพันธุ์เป็ด สะอาด ไม่มีรอยเปื้อน เปลือกเรียบ สม่ำเสมอทั้งฟอง	2. ช่องอากาศอยู่ด้านป้านของไข่ มีขนาดเล็กและไม่เคลื่อนที่ตามเมื่อหมุนไข่
3. ไม่บุบร้าว	3. เมื่อตอกไข่แดง ไข่แดงไม่ติดเปลือกด้านใน ไม่แตกเหลว และไข่ขาวส่วนข้นโอบล้อมไข่แดง
4. ไม่พบเชื้อราเมื่อมองด้วยตาเปล่า	4. ไม่มีกลิ่นผิดปกติ ไม่เน่าเสีย
	5. ไข่แดงมีสีปกติ สม่ำเสมอ ไข่ขาวไม่ขุ่น
	6. ไม่พบเชื้อราที่ด้านในของไข่เมื่อมองด้วยตาเปล่า

ที่มา : มาตรฐานสินค้าเกษตร ไข่เป็ด มกษ. 6703-2555

2.1.2.2 ข้อกำหนดชั้นคุณภาพ [1] คุณภาพของไข่เป็ดตามมาตรฐานสินค้าเกษตร มี 3 ชั้นคือ ชั้นเอเอ ชั้นเอ และชั้นบี โดยแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดชั้นคุณภาพของไข่เป็ด

คุณลักษณะ	ชั้นเอเอ (AA)	ชั้นเอ (A)	ชั้นบี (B)
1. เปลือกไข่	- สะอาดไม่มีรอยเปื้อน - ผิวเปลือกเรียบลื่นไม่หยาบเป็นคลื่นหรือปุ่ม	- เหมือนชั้นเอเอ	- มีรอยเปื้อนได้บ้างแต่ต้องไม่เกิน 1/16 ของพื้นที่ หากเป็นจุดเดียวต้องไม่เกิน 1/32 ของพื้นที่และคราบไม่ฝังแน่น - ผิวเปลือกอาจหยาบเป็นคลื่นหรือปุ่ม
2. คุณลักษณะจากการส่องไข่	- เห็นขอบเงาไข่แดงไม่ชัดเจนและลอยอยู่กลางฟอง ไม่พบจุดเลือด จุดเนื้อทั้งในไข่ขาวและไข่แดง ช่องอากาศสูงไม่เกิน 0.3 cm	- เห็นขอบเงาไข่แดงชัดเจนขึ้นและลอยเกือบชิดเปลือก ไม่พบจุดเลือด จุดเนื้อทั้งในไข่ขาวและไข่แดง ช่องอากาศสูงไม่เกิน 0.5 cm	- เห็นขอบเงาไข่แดงชัดเจนและลอยชิดเปลือก อาจพบจุดเลือด จุดเนื้อทั้งในไข่ขาวและไข่แดงช่องอากาศสูงไม่เกิน 0.8 cm
3. ไข่แดง	- ไข่แดงนูนอยู่กลางไข่ขาวส่วนข้น ไม่มีจุดเลือด จุดเนื้อ จุดกำเนิดมีขนาดเล็ก ขาวเข้ม	- ไข่แดงนูน ไม่มีจุดเลือด จุดเนื้อ จุดกำเนิดมีขนาดเล็ก ขาวเข้ม	- ไข่แดงไม่นูน อาจมีจุดเลือด จุดเนื้อ จุดกำเนิดมีขนาดใหญ่ มีรอบวงสีขาวคล้ายโดนัท

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดชั้นคุณภาพของไข่เป็ด (ต่อ)

คุณลักษณะ	ชั้นเอเอ (AA)	ชั้นเอ (A)	ชั้นบี (B)
4. ไข่ขาว	- ไข่ขาวส่วนข้นหนืดนูน ไข่ขาวส่วนใสไม่กระจายตัว ไม่มีจุดเลือดจุดเนื้อ	- เหมือนชั้นเอเอ แต่ไข่ขาวส่วนข้นนูนน้อยลง	- ไข่ขาวส่วนข้นและส่วนใสเหลวและกระจายตัว อาจจะมีจุดเลือดจุดเนื้อ

ที่มา : มาตรฐานสินค้าเกษตร ไข่เป็ด มกษ. 6703-2555

2.1.2.3 ขนาดของไข่เป็ด [1] ขนาดไข่เป็ดจะถูกเรียกเป็นเบอร์เหมือนไข่ไก่ โดยคัดแยกเบอร์จากน้ำหนักของไข่เป็ด สามารถแยกเป็นเบอร์ต่างๆได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดขนาดของไข่เป็ด

เบอร์	ขนาด	น้ำหนักต่อฟอง(กรัม)
0	จัมโบ้ (Jumbo)	มากกว่า 80
1	ใหญ่พิเศษ (Extra large)	มากกว่า 75 ถึง 80
2	ใหญ่ (Large)	มากกว่า 70 ถึง 75
3	กลาง (Medium)	มากกว่า 65 ถึง 70
4	เล็ก (Small)	มากกว่า 60 ถึง 65
5	จิ๋ว (Peewee)	มากกว่า 55 ถึง 60

ที่มา : มาตรฐานสินค้าเกษตร ไข่เป็ด มกษ. 6703-2555

2.2 ความสดของไข่เป็ด

ความสดของไข่สามารถคำนวณได้จาก เลขฮอก (Haugh unit) โดยอาศัยการวัดความสูงของไข่ขาวและน้ำหนักของไข่ มาทำการคำนวณด้วยสมการคำนวณเลขฮอก [4] ดังสมการที่ 2.1

$$\text{Haugh unit} = 100\log(H - 1.7W^{0.37} + 7.6) \quad (2.1)$$

เมื่อ H = ค่าความสูงเฉลี่ยของไข่ขาว (มิลลิเมตร)

W = น้ำหนักรวมของไข่ทั้งฟอง (กรัม)

การวัดความสูงของไข่ขาวนั้นสามารถทำได้ด้วยการตอกไข่ลงบนพื้นเรียบจากนั้นใช้ Haugh unit micrometer เป็นอุปกรณ์ช่วยวัด ไข่ที่มีความสดสูงจะมีความสูงของไข่ขาวมากกว่าไข่ที่ทิ้งไว้เป็นเวลานาน ทั้งนี้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [1] ได้กำหนดชั้นคุณภาพที่วัดด้วยเลขฮอกไว้ทั้งหมด 3 ชั้นคือ ชั้นเอเอ (เลขฮอกมากกว่า 72) ชั้นเอ (เลขฮอกอยู่ระหว่าง 61-71) และชั้นบี (เลขฮอกน้อยกว่า 60)

2.3 สารอาหารและคุณค่าทางโภชนาการ

ไข่เป็ดนั้นเป็นวัตถุดิบสำหรับทำอาหารที่มีผลผลิตจากภาคการเกษตรออกมาตลอดทั้งปี นอกจากจะมีรสชาติอร่อย หาซื้อได้ง่าย และราคาไม่แพงแล้วนั้น คุณค่าและประโยชน์ที่ได้รับจากการรับประทานไข่เป็ดยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผู้คนเลือกที่จะรับประทาน

สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของไข่เป็ดและไข่ไก่นั้นโดยภาพรวมแล้วมีองค์ประกอบหลักที่ให้สารอาหารคล้าย กันคือ ให้พลังงานและโปรตีน นอกจากนี้จะเป็นสารอาหารจำพวกวิตามิน ธาตุเหล็กหรือแคลเซียม เป็นต้น ดังแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อมูลโภชนาการระหว่างไข่ไก่และไข่เป็ดที่น้ำหนักเท่ากัน

สารอาหาร	ไข่ไก่	ไข่เป็ด
พลังงาน (แคลอรี)	169	180
ไขมัน (กรัม)	11.9	12.6
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	1.7	4.1
โปรตีน (กรัม)	12.7	11.7
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	76.0	71.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	3.5	2.8
วิตามิน บี 1 (มิลลิกรัม)	0.08	0.27
วิตามิน บี 2 (มิลลิกรัม)	0.48	0.56
วิตามิน บี 5 (มิลลิกรัม)	0.1	0.1

ที่มา : จะกินไข่ไก่หรือไข่เป็ดดี? SciMath คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศ , 2553

จากตารางที่แสดงคุณค่าโภชนาการจะเห็นได้ว่า ไข่ไก่เน้นสารอาหารประเภทโปรตีน แคลเซียม และเหล็ก ในขณะที่ไข่เป็ดเน้นสารอาหารประเภทพลังงานและวิตามิน

ประโยชน์ที่ได้จากการรับประทานไข่นั้นมีมากมาย โปรตีนที่ได้จากไข่นั้นมีอัตราส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์มากกว่าโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์ประเภทอื่น ไขมันที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของไข่ก็เป็นไขมันประเภทไม่อิ่มตัวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายในส่วนของการลดสภาวะหัวใจขาดเลือด ธาตุเหล็กในไข่เป็นส่วนเสริมในการสร้างโลหิตและลดภาวะของโรคโลหิตจาง ขณะที่แคลเซียมช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของกระดูกส่วนต่างๆได้ นอกจากนี้ในไข่ยังมีเลซิติน (Lecithin) ไขมันในรูปสารประกอบฟอสโฟลิพิด [5] ซึ่งตัวเลซิตินนี้เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทและกล้ามเนื้อเซลล์ประสาท โดยเลซิตินจะเป็นตัวที่ช่วยย่อยและขนส่งไขมันเพื่อให้เกิดพลังงาน รวมถึงเป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์จากตับ ทำให้สามารถรับคอลเลสเตอรอลภายในร่างกายเข้าสู่ตับได้มากขึ้น ทำให้สามารถควบคุมระดับคลอเรสเตอรอลได้ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการสร้างโคลีน [6] (Choline) ซึ่งเป็นสารที่มีผลต่อการเสริมสร้างความจำและลดอาการหลงลืมได้อีกด้วย

2.4 ผลกระทบจากระยะเวลาที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาไข่

การเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีเกิดขึ้นตลอดระยะเวลานับตั้งแต่ไข่ออกมาจากแม่เป็ด ซึ่งการเปลี่ยน แปลงเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและลักษณะของไข่ด้วย โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะมีดังนี้

2.4.1 การขยายตัวของโพรงอากาศ

เกิดจากการที่น้ำหรือความชื้นภายในไข่นั้นระเหยโดยการแพร่ผ่านรูพรุนขนาดเล็กที่เปลือกไข่ออกสู่ภายนอก ทำให้ส่งผลต่อน้ำหนักที่ลดลง [6] โดยการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถตรวจสอบด้วยการส่องไข่

2.4.2 ไข่ขาวมีความหนืดลดลง

ความหนืดที่ลดลงของไข่ขาวนั้นเป็นผลกระทบที่เกิดมาจากการย่อยสลายของโปรตีนที่อยู่ในตัวของไข่ขาวเอง [7]

2.4.3 การขยายตัวของไข่แดง

ผลที่เกิดจากแรงดันออสโมซิสขององค์ประกอบของน้ำที่อยู่ในไข่ขาวเกิดการซึมผ่านเข้าสู่ชั้นของไข่แดง ซึ่งนอกจากจะทำให้ไข่แดงขยายตัวขึ้นแล้วยังทำให้ตำแหน่งของไข่แดงไม่อยู่ตรงกลางและมีความหนืดน้อยลงด้วย [6] ซึ่งอาจทำให้เยื่อที่ห่อหุ้มไข่แดงเอาไว้ยืดออกจนขาดส่งผลต่อเนื่องให้ไข่แดงอาจแตกก่อนแยกไข่แดงจากไข่ขาว

2.4.4 ไข่มีสภาวะเป็นด่างเพิ่มขึ้น

ภายในไข่นั้นมีกระบวนการเมตาบอริซึมเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งกระบวนการนี้เองทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นโดยจะละลายอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิกและเกลือไบคาร์บอเนต ทว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถซึมผ่านรูพรุนขนาดเล็กที่เปลือกออกสู่ภายนอกได้ ส่งผลให้ค่าความเป็นด่างของไข่เพิ่มขึ้นและสภาวะความเป็นด่างนี้ยังส่งผลให้โอโวมิวซิน (Ovomucin) ในไข่ขาวสลายตัว [6] ผลข้างเคียงของการเปลี่ยนแปลงนอกจากนี้ยังส่งผลต่อรสชาติและกลิ่นอีกด้วย

2.4.5 การแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์นั้นสามารถแพร่กระจายและโตเติบภายในไข่ได้ จุลินทรีย์บางชนิดอาจจะเข้ามาทางรูพรุนที่เปลือกไข่ภายหลังจากการเก็บรักษาระยะหนึ่ง ในขณะที่บางชนิดอาจเข้ามาตั้งแต่ตอนที่มีการล้างไข่หากล้างไม่ถูกวิธี [8] ทั้งนี้ผลของจุลินทรีย์อาจทำให้ไข่เน่าเสีย หรือเกิดสภาวะของโรคต่างๆได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 วิธีการเก็บรักษาไข่

ขั้นตอนหรือสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาไข่เป็ดนั้นมีความสำคัญมาก หากทราบขั้นตอนการเก็บรักษาที่ถูกต้องจะทำให้สามารถยืดอายุและคุณค่าของไข่เป็ดออกไปได้นานยิ่งขึ้น ทั้งนี้การเก็บรักษานั้นนอกจากจะมีวิธีการเก็บรักษาแบบทั่วไปแล้ว การแปรรูปไข่เป็ดไปอยู่ในรูปอื่นก็จัดว่าเป็นการเก็บรักษาอีกวิธีหนึ่งเช่นกัน

2.5.1 การกำหนดสภาวะการเก็บรักษา

สภาวะสำหรับการเก็บรักษาไข่นั้นควรมีสภาวะอยู่ที่อุณหภูมิต่ำและมีความชื้นในบรรยากาศสูง ซึ่งผลของสภาวะนี้เองจะทำให้น้ำหรือความชื้นที่อยู่ภายในไข่นั้นระเหยออกมาช้ากว่า

การจัดเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นในบรรยากาศต่ำ ทำให้การขยายตัวของโพรงอากาศเป็นไปอย่างช้าๆเช่นกัน

2.5.2 การเคลือบผิวเปลือกไข่ด้วยน้ำมันแร่

การเคลือบผิวเปลือกไข่ [9] ด้วยวิธีนี้จะช่วยยืดอายุของไข่ไปได้อีกระยะหนึ่ง เพราะฟิล์มเคลือบจะทำหน้าที่ลดการซึมผ่านของน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากไข่สู่ภายนอก

2.5.3 การล้างไข่ด้วยน้ำอุ่น

ตามปกติผู้บริโภคมักจะไม่นิยมล้างไข่ เพราะจะทำให้สารตามธรรมชาติที่เคลือบเปลือกไข่หลังแม่เป็ดออกไข่ซึ่งเป็นตัวป้องกันเชื้อจุลินทรีย์จากภายนอกนั้นหายไป การล้างไข่จะทำในกรณีที่ไข่นั้นสกปรกมาก แต่จะไม่ล้างในน้ำที่อุณหภูมิปกติ [8] หรืออุณหภูมิต่ำเพราะไข่จะหดตัวส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆจะถูกดูดเข้ามาผ่านรูพรุน ดังนั้นการล้างไข่จึงทำในน้ำอุ่น หรือน้ำอุณหภูมิสูงแต่ต้องระวังไม่ให้ไข่ถูกลวกด้วย

2.5.4 การแช่แข็งไข่

กรณีของการแช่แข็งนี้จะนิยมใช้ก็ต่อเมื่อไข่มีลักษณะที่ผิดปกติเช่น มีรอยร้าวที่เปลือก ไข่มีความสกปรกมาก หรือใช้กับไข่ฟองเล็ก โดยการแช่แข็งนี้จำเป็นต้องมีการระมัดระวังในเรื่องของเชื้อซาลโมเนลลาด้วยการแช่แข็งสำหรับไข่ขาวนั้นไม่จำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งใดๆ แต่ไข่แดงจำเป็นต้องเติมเกลือ น้ำตาลหรือกรีเซอรีนเล็กน้อยเพื่อทำให้ไข่แดงไม่เปลี่ยนสภาพเป็นยางเหนียว

2.5.5 การแปรรูปไข่

การแปรรูปจัดเป็นการเก็บรักษาไข่อีกวิธีหนึ่งแต่เป็นการแปรสภาพจากไข่สดไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นเช่น ไข่ผง ไข่เยี่ยวม้า หรือไข่เค็ม เป็นต้น

2.5.5.1 ไข่ผง เกิดจากการนำไข่มาตีให้เข้ากัน ก่อนที่จะทำการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแล้วนำไปผ่านกระบวนการอัดแรงดันสูงผ่านรูเล็กทำให้ออกมาเป็นฝอยแล้วจึงระเหยเอาน้ำออกด้วยอุณหภูมิสูง

2.5.5.2 ไข่เค็ม ไข่เป็ดสามารถแปรรูปเป็นไข่เค็มได้ด้วยการนำไปดองในภาชนะปิดที่มีน้ำเกลือต้มสุก โดยทิ้งระยะเวลาดองเป็นเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

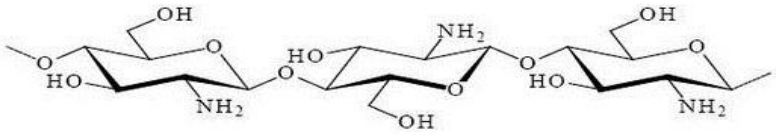
2.5.5.3 ไข่เยี่ยวม้า ไข่เยี่ยวม้าเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการหมักโดยนำไข่เป็ดไปหมักกับปูนขาว เกลือ โซเดียมคาร์บอเนต ใบชาดำ ซิงก์ออกไซด์และน้ำเป็นระยะเวลา 15 วัน

2.6 ไคโตซาน

ไคโตซาน [10] (Chitosan) หรือสูตรทางเคมีคือ poly-β(1,4)-2-deoxy-D-glucose จัดเป็นสารประเภทไบโอพอลิเมอร์ ชนิดหนึ่งอันเป็นส่วนประกอบของเปลือกแข็งของสัตว์จำพวก ปู กุ้ง หอย โดยอาจรวมถึง แมลง หรือเชื้อราบางชนิด ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ที่ถูกตัดหมู่ Acetyl (Deacetylation) ในส่วนของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ออกเป็น glucosamine เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้ไม่เกิดมลภาวะหรือสิ่งตกค้างอันเป็นพิษต่อทั้งพืช สัตว์ และมนุษย์

องค์ประกอบทางเคมีของไคโตซานนั้นเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลเดี่ยวต่อกันเป็นสายโซ่ขนาดใหญ่ มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง มีมวลโมเลกุลมากและละลายน้ำไม่ได้ แต่เนื่องจากโครงสร้างของไคโตซานนั้นมีหมู่ฟังก์ชั่นของเอมีน [10] ที่มีอนุพันธ์ของแอมโมเนีย ($R\text{-}NH_2$) ซึ่งทำหน้าที่จับหมู่ฟังก์ชั่นอื่นๆได้ จึงส่งผลให้โครงสร้างของไคโตซานนั้นสามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นกรด เช่น กรดอินทรีย์ต่างๆอย่าง กรดอะซีติก กรดไนตริก เป็นต้น

โครงสร้างทางเคมีของไคโตซานนั้นมีสภาพเป็นขั้วประจุบวก ดังนั้นจึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารที่มีโครงสภาพขั้วประจุเป็นลบได้ เช่น ทำปฏิกิริยากับโปรตีน หรือน้ำตาลหลายโมเลกุล ไม่เพียงเท่านั้น โครงสร้างของไคโตซานที่มีประจุบนสายโซ่พันธะนั้นยังสามารถดักจับธาตุโลหะ [6] ได้อีกหลายชนิดด้วยการใช้อนุพันธ์ของแอมโมเนียเป็นตัวดักจับสารประกอบของโลหะหนักเชิงซ้อน เช่น ธาตุแคดเมียม (Cd) และโครเมี่ยม (Cr) เป็นต้น นอกจากนี้ไคโตซานยังมีคุณสมบัติในการลดการเกิดเชื้อราหรือเชื้อโรคที่เป็นเชื้อศัตรูพืชหรือผลไม้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติในการชักนำให้เกิดเชื้อปฏิปักษ์ (Trichoderma harzianum) เช่น เอนไซม์ไคติเนส [11] (Chitinase Enzyme) หรือ เอนไซม์กลูแคน (β-1,3-glucanase) เอนไซม์เหล่านี้โดยมีคุณสมบัติในการย่อยสลายผนังเส้นใยของเชื้อราหรือโรคต่างๆจากนั้นจึงเข้าไปเจริญเติบโตอยู่ภายในเส้นใยของเชื้อราหรือเชื้อโรคพืชนั้นๆ ผลที่ตามมาคือทำให้เชื้อราหรือเชื้อโรคค่อยๆตายและลดปริมาณลง ดังนั้นไคโตซานจึงสามารถใช้เป็นสารเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคหรือเชื้อราบนพืชหรือผลไม้ได้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพันธะของไคโตซาน

2.7 การย่อยสลายโครงสร้างพันธะพอลิเมอร์ของไคโตซานด้วยรังสี

วัสดุหลายชนิดเมื่อได้รับการฉายรังสีในปริมาณต่างๆจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างภายในของตัววัสดุ โดยขึ้นกับชนิดและปริมาณของรังสีที่แตกต่างกัน เช่น หากวัสดุใดๆได้รับการฉายรังสีนิวตรอน ผลที่ได้คืออาจเกิดเปลี่ยนแปลงไอโซโทปของธาตุที่ใช้ทำวัสดุ เป็นต้น

การฉายรังสีแกมมากับไคโตซานก็เช่นกัน เนื่องจากไคโตซานเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างจัดอยู่ในประเภทของพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งผลลัพธ์จากการถ่ายฉายรังสีนั้นเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ โดยแสดงได้ดังนี้

2.7.1 การย่อยสลายโมเลกุล (Degradation)

การใช้รังสีตัดหรือย่อยสลายโครงสร้างพันธะพอลิเมอร์ [6] ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพันธะถูกตัดจนมีขนาดสั้นลงกว่าก่อนได้รับการฉายรังสี ซึ่งความยาวของสายโซ่ที่สั้นลงนี้ย่อมส่งผลถึงมวลโมเลกุลที่ลดลงด้วย ดังนั้นการย่อยสลายโมเลกุลจึงส่งผลให้การขึ้นรูปของโครงสร้างพอลิเมอร์นั้นง่ายขึ้น เช่น การสลายพันธะพอลิเมอร์ของเซลลูโลส ผลผลิตที่หนืด หรือการสลายพอลิเมอร์ที่มีพันธะ PTFE (Polytetrafluoroethylene) สำหรับผงกาว เป็นต้น

2.7.2 การเชื่อมโยงข้ามพันธะ (Cross-Linking)

การที่รังสีเข้าไปเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระ [6] (Free Radicals) ระหว่างขั้วพันธะหรืออาจเชื่อมข้ามพันธะเป็นโครงร่างตาข่ายทำให้เกิดการเชื่อมกันของโครงสร้างพันธะขึ้น ดังนั้นโครงสร้างพันธะใหม่จึงทำให้มวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์จากการฉายรังสีเพื่อเชื่อมโยงข้ามพันธะมักจะนำไปประยุกต์ในการเพิ่มความเหนียว ความทนทานต่อสารเคมี [12] ของพอลิเมอร์ประเภทนั้นๆ ตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่นิยมเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการฉายรังสีเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามพันธะเช่น การปรับปรุงคุณภาพของโมเลกุล PE “O” rings สำหรับทำ Drum Fitting เป็นต้น

2.7.3 การต่อกิ่ง (Grafting)

การต่อกิ่งเป็นผลมาจากการที่โครงสร้างพันธะหลักได้รับรังสีจนเกิดอนุมูลอิสระที่ตัวโครงสร้างหลัก [12] หรืออาจทำให้หมู่ฟังก์ชั่นอื่นที่เคยเชื่อมกับพันธะหลักหลุดออกไป ทำให้พอลิเมอร์พันธะเดี่ยว (Monomer) อื่นๆ สามารถเข้ามาทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระส่วนนี้ได้จนเกิดเป็นโครงสร้างสายโซ่ใหม่บนโครงสร้างหลักเก่า มักใช้ประโยชน์ในการปรับหรือแปลงสภาพผิวของพอลิเมอร์

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ประเภทหนึ่งที่มีโครงสร้างที่หากได้รับการฉายรังสีแล้วจะเกิดการย่อยสลายโมเลกุล (Depolymerization) โดยที่อัตราการเสื่อมสลายของพันธะจะแปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่โครงสร้างได้รับ และยังแปรผันตรงกับค่าการเสื่อมสลาย (G_d) เมื่อค่า G_d คือปริมาณโมเลกุลที่เสื่อมสลายต่อปริมาณพลังงานรังสีที่โครงสร้างดูดกลืน 100 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.2 [13]

$$\mathbf{M_n^{-1} - M_{n0}^{-1} = G_d \times 1.04 \times 10^{-7} \times D} \qquad (2.2)$$

เมื่อ M_{n0} และ M_n = ค่าเฉลี่ยของ Molecular Weight ก่อนและหลังการฉายรังสี

D = ปริมาณรังสีที่ใช้ในการฉาย (kGy)

G_d = ค่าการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ (yield)

สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อไคโตซานได้รับการฉายรังสีแกมมาโดยตรงสามารถอธิบายได้ด้วยสมการเคมี [13] ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} R-H &\xrightarrow{\text{Gamma}} R^o(C_4 - C_6) + H^o \\ R-H+H^o &\longrightarrow R^o(C_1 - C_6) + H_2 \\ R^o(C_1, C_4) &\longrightarrow F_1^o + F_2(\text{scission}) \\ R-NH_2 + H^o &\longrightarrow R^o(C_2) + NH_3 \end{aligned}$$

โดยที่ $R^{\circ}(C_n)$ คือโมเลกุลของไคโตซานขนาดมหัพภาคที่เกาะอยู่บนอนุมูลอิสระบนสายโซ่คาร์บอนหลัก ในขณะที่ F°_1 และ F_2 คือเศษของโซ่หลักหลังจากได้รับการตัดทอนขนาดโมเลกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8 การวิเคราะห์น้ำหนักและโครงสร้างโมเลกุล

สำหรับการวิเคราะห์น้ำหนักและโครงสร้างโมเลกุลของไคโตซานสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการวิธีการตรวจหาน้ำหนักและโครงสร้างโมเลกุลได้ดังนี้

2.8.1 การหาน้ำหนักโมเลกุล

วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลที่นิยมใช้คือวิธี Gel Permeation Chromatography (GPC) โดยอาศัยหลักการแยกขนาดโมเลกุลของพอลิเมอร์ [14] กระบวนนี้จะเกิดขึ้นภายในคอลัมน์ที่บรรจุไปด้วยเม็ด (Bead) หรือ เจล (Gel) ซึ่งโดยทั่วไปมักนิยมใช้เม็ดพอลิสไตรีนที่ผ่านกระบวนการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลและมีรูพรุน หรือบางครั้งอาจใช้แก้วที่มีรูพรุน

เมื่อต้องการตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุล สารละลายพอลิเมอร์เจือจางจะถูกใส่ลงในคอลัมน์ จากนั้นจะถูกชะออกด้วยตัวทำละลาย โดยที่พอลิเมอร์ที่ผ่านวัสดุรูพรุนภายในคอลัมน์นี้จะแพร่ผ่านเข้าสู่รูพรุนซึ่งขนาดของโมเลกุลที่ใหญ่กว่าจะไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าไปได้และจะถูกชะออกมาตามช่องว่างลงมาที่ด้านล่างของคอลัมน์ในขณะที่โมเลกุลขนาดเล็กจะติดค้างภายในรูพรุนและใช้เวลานานกว่าจะถูกชะออกมา

2.8.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล

วิธีวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลนี้มักใช้วิธี Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) โดยวิธีนี้สามารถวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นและโครงสร้างของสารประกอบพอลิเมอร์ได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

กระบวนการวิเคราะห์จะอาศัยการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในสายละลายตัวอย่าง โดยรังสีอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนไปนี้พลังงานจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปพลังงานการหมุนและการสั่นสะเทือนของโมเลกุลจากนั้นจะให้สเปคตรัมออกมา [6] โดยโครงสร้างพันธะและชนิดของสารประกอบแต่ละชนิดจะมีเอกลักษณ์ของสเปคตรัมที่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
อุปกรณ์และขั้นตอนการวิจัย

3.1 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาโดยมีต้นกำเนิดรังสีคือ โคบอลต์-60

3.1.2 เครื่องวัดค่าพีเอชของสารละลาย รุ่น CONSORT C532, Belgium

3.1.3 เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล เจล เพอร์มีเอชั่นโครมาโทรกราฟี

3.1.4 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างสาร ฟูเรียร์ ทรานฟอร์ม อินฟาร์เรด สเปกโตรมิเตอร์

3.1.5 เครื่องกวนสารอัตโนมัติด้วยระบบแม่เหล็ก

3.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง ELECTRONIC BALANCE รุ่น WT2203N

3.1.7 เครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิ

3.1.8 ชั้นวางไข่สแตนเลส

3.1.9 กระบอกตวงสารเคมี

3.1.10 บีกเกอร์

3.1.11 แท่งแก้วสำหรับคนสารละลาย

3.1.12 ถ้วยตวงพลาสติก

3.1.13 ถาดโฟม

3.1.14 ถ้วยพลาสติกสำหรับรองไข่

3.1.15 ถ้วยอะลูมิเนียมสำหรับใส่สารละลายไคโตซาน

3.1.16 เวอร์เนียร์ไฮเกจ

3.1.17 กล้องถ่ายรูป CANNON รุ่น IXY 610F FULL HD WI-FI

3.1.18 เขียงแบนเคลือบสติ๊กเกอร์พลาสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 รายการสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ไคโตซาน (95% Deacetylation, MW 500 – 1,000 kDa) โดยบริษัท Bonafidest Marketing Ltd.

3.2.2 กรดอะซิติก เกรเซียล 99.7% (CH_3COOH) โดยบริษัท J.T. Baker

3.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.2.4 ไข่เป็ดสด (น้ำหนัก 65-80 กรัม) โดยฟาร์มไข่เป็ดเพ็ญจันทร์ อำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การลดขนาดโมเลกุลไคโตซานด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมา

ทำการแบ่งไคโตซานลงในถุงพลาสติกซิปเป็นจำนวนทั้งหมด 5 ถุง โดยแต่ละถุงมีน้ำหนักถุงละ 40 กรัม จากนั้นส่งไคโตซานที่ทำการแบ่งไว้ในถุงพลาสติกซิปไปฉายรังสีที่ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก โดยแบ่งการฉายรังสีในแต่ละถุงตามปริมาณรังสีคือ 10 30 50 70 และ 90 กิโลเกรย์ ด้วยเครื่องฉายรังสีแกมมาโดยมีไอโซโทปคือ โคบอลต์-60

รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมา (ต้นกำเนิดรังสีคือ Co-60)

รูปที่ 3.2 ไคโตซานผงที่ได้รับการฉายที่ปริมาณรังสี 0 10 30 50 70 และ 90 kGy ตามลำดับ (ซ้ายไปขวา)

3.3.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธี Gel Permeation Chromatography

นำไคโตซานที่รับได้การฉายรังสีมาทำการเตรียมตัวอย่างสำหรับการนำไปวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีการหาน้ำหนักโมเลกุล Gel Permeation Chromatography (GPC) โดยเริ่มจากการนำไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีในแต่ละระดับปริมาณรังสีมาละลายในกรดอะซิติก เกรเซียลเข้มข้น 1% (v/v) จนมีความเข้มข้นสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติกเท่ากับ 0.1% (w/v) ตัวอย่างละ 20 mL จากนั้นจึงทำการส่งตัวอย่างไคโตซานทั้งหมดไปตรวจวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

3.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectrometry

นำตัวอย่างไคโคซานทั้งที่เตรียมได้จากการฉายรังสีแกมมาและที่ยังไม่ได้รับการฉายรังสีส่งไปตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectrometry โดยส่งตรวจในรูปแบบผง อย่างละ 1 กรัม ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.4 การเตรียมสารละลายไคโตซานสำหรับดำเนินการวิจัย

นำไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีในแต่ละระดับปริมาณรังสีมาแบ่งชั่งตามความเข้มข้นที่จะทำการวิจัย คือ 1 2 และ 4 กรัม สำหรับไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 0 10 และ 30 กิโลเกรย์ และ 1 2 4 และ 10 กรัมสำหรับไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 50 70 และ 90 กิโลเกรย์ จากนั้นนำกรดอะซิติกมาละลายในน้ำกลั่นจนได้ความเข้มข้นเท่ากับ 1%

(v/v) แล้วจึงแบ่งสารละลายกรดอะซิติกเทลงในบีกเกอร์ที่มีไคโตซานที่ทำการแบ่งชั่งตามปริมาณความเข้มข้นที่ทำการวิจัยแต่ละบีกเกอร์เท่ากับ 200 mL

นำบีกเกอร์ที่มีสารละลายกรดอะซิติกผสมกับไคโตซานแต่ละบีกเกอร์ไปกวนด้วยเครื่องกวนระบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) ทำการกวนทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อให้ไคโตซานสามารถละลายได้เข้ากันกับสารละลายกรดอะซิติก ระหว่างการกวนมีการปรับค่าพีเอชให้อยู่ระหว่าง 4.3 - 4.4 โดยเมื่อไคโตซานละลายเข้ากับสารละลายกรดอะซิติกจนหมดก็จะได้สารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.5% 1% และ 2% สำหรับระดับปริมาณรังสี 0 10 และ 30 กิโลเกรย์ตามลำดับ และได้สารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5% 1% 2% และ 5% สำหรับระดับปริมาณรังสี 50 70 และ 90 กิโลเกรย์ตามลำดับ ที่ปริมาตร 200 mL ในแต่ละระดับความเข้มข้น

รูปที่ 3.3 สารละลายไคโตซาน

รูปที่ 3.4 ไคโตซานที่มวลโมเลกุลสูง (823 668 และ 377 kDa) ไม่ละลายที่ความเข้มข้น 5% (w/v)

3.3.5 การเตรียมและการเคลือบไข่เป็ดด้วยสารละลายไคโตซาน

ซื้อไข่เป็ดสดอายุ 0 วัน จากแม่เป็ดพันธุ์กากีแคมเบลล์อายุเฉลี่ย 6 เดือน จากฟาร์มไข่เป็ดเพ็ญจันทร์ อำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นจำนวน 540 ฟอง จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำอุ่นให้สะอาดแล้วนำไปผึ่งลมให้แห้ง เมื่อแห้งแล้วจึงนำสารละลายไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีที่ระดับรังสีและความเข้มข้นต่างๆ เทใส่ถ้วยอะลูมิเนียม แล้วจึงนำไข่เป็ดที่ผึ่งจนแห้งโดยแบ่งเป็นกลุ่มไข่เป็ดควบคุมและกลุ่มไข่เป็ดสำหรับการเคลือบสารละลายไคโตซาน

ไข่เป็ดควบคุม คือ ไข่เป็ดที่ทำการล้างคราบสกปรกออกจากเปลือกไข่ด้วยน้ำอุ่นจนสะอาดแล้วผึ่งจนแห้ง เป็นไข่เป็ดที่ไม่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่สนใจต่างๆที่การเปลี่ยนแปลงไปตามกลไกตามธรรมชาติ

ส่วนไข่เป็ดที่เหลือเป็นไข่เป็ดสำหรับชุบไคโตซานโดยใช้วิธีการจุ่มลงในสารละลายให้เคลือบจนทั่วเปลือกและนำไข่เป็ดที่เคลือบแล้วไปวางในถ้วยพลาสติกสำหรับรองไข่บนถาดโฟมที่มีฉลากระบุความเข้มข้นและระดับปริมาณการฉายรังสีของสารละลายไคโตซาน โดยแบ่งไข่เป็ดทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนสำหรับการชั่งน้ำหนักโดยมีไข่เป็ดทั้งหมด 7 ฟองในแต่ละสภาวะ และส่วนสำหรับการตอกเพื่อดูคุณลักษณะภายในของไข่เป็ดและวัดความสูงของไข่ขาวเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณค่าความสดของไข่เป็ด (Haugh Unit) โดยส่วนนี้มีไข่จำนวน 16 ฟอง จากนั้นนำไปผึ่งให้แห้งก่อนทำการเก็บข้อมูลตัวแปรที่สนใจ

รูปที่ 3.5 ฟาร์มเป็ดไข่

รูปที่ 3.6 แผงไข่เป็ด

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเคลือบไข่เป็ดด้วยสารละลายไคโตซาน

รูปที่ 3.8 การเก็บรักษาไข่เป็ดระหว่างการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาวะไข่ที่ใช้ในการทดลองตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์

ประเภทไข่	ความเข้มข้น (w/v)	จำนวนไข่สำหรับการชั่งเพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนัก (ฟอง/สัปดาห์)	จำนวนไข่สำหรับตอกหาค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว (ฟอง/สัปดาห์)	จำนวนไข่สำหรับตรวจเชื้อจุลินทรีย์ (ฟอง)	ตำแหน่งค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว (ตำแหน่ง)
ตัวควบคุม	-	7	3	1	5
เคลือบด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 823 kDa	0.5 %	7	3	-	5
	1.0 %	7	3	-	5
	2.0 %	7	3	1	5
เคลือบด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 668 kDa	0.5 %	7	3	-	5
	1.0 %	7	3	-	5
	2.0 %	7	3	1	5
เคลือบด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 377 kDa	0.5 %	7	3	-	5
	1.0 %	7	3	-	5
	2.0 %	7	3	1	5
เคลือบด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 130 kDa	0.5 %	7	3	-	5
	1.0 %	7	3	-	5
	2.0 %	7	3	1	5
	5.0 %	7	3	-	5
เคลือบด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 36.7 kDa	0.5 %	7	3	-	5
	1.0 %	7	3	-	5
	2.0 %	7	3	1	5
	5.0 %	7	3	-	5
เคลือบด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 28.1 kDa	0.5 %	7	3	-	5
	1.0 %	7	3	-	5
	2.0 %	7	3	1	5
	5.0 %	7	3	-	5

หมายเหตุ* : ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 60%

หมายเหตุ** : ไข่ที่ส่งตรวจเชื้อจุลินทรีย์ ส่งเฉพาะสัปดาห์ที่ 1, 3 และ 5

3.3.6 การเก็บข้อมูลน้ำหนักของไข่เป็ดและการวัดความสูงของไข่ขาว

ทำการชั่งน้ำหนักไข่เป็ดหลังจากที่สารละลายไคโตซานที่เคลือบเปลือกไข่อยู่นั้นแห้งแล้ว ซึ่งชั่งเฉพาะในส่วนของไข่เป็ดที่จัดไว้สำหรับการเก็บข้อมูลน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง โดยทำการจัดเก็บค่าน้ำหนักที่ชั่งได้สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นจำนวนทั้งหมด 8 สัปดาห์ วิธีการชั่งน้ำหนักแสดงดังรูปที่ 3.1

สำหรับไข่เป็ดในส่วนที่ใช้ตอกสำหรับวัดความสูงไข่ขาวเฉลี่ยนั้น เริ่มจากทำการชั่งน้ำหนักไข่เป็ดก่อนการตอก จากนั้นจึงตอกไข่เป็ดลงบนเขียงที่มีพื้นผิวแบนราบและทำการถ่ายรูปลักษณะภายในของไข่เป็ดแล้วจึงนำเวอร์เนียร์ไฮเกจมาทำการวัดความสูงไข่ขาวเฉลี่ย โดยแสดงวิธีการวัดความสูงไข่ขาวดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.9 วิธีการชั่งน้ำหนักไข่เป็ด

รูปที่ 3.10 การวัดความสูงไข่ขาว

3.3.7 การประมวลผลข้อมูลน้ำหนักไข่คงเหลือและการคำนวณค่าความสดไข่เป็ด

นำค่าน้ำหนักของไข่เป็ดที่ทำการบันทึกไว้มาคำนวณด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้ค่าน้ำหนักไข่ในสัปดาห์เริ่มต้นเป็นตัวแปรหาร และนำค่าน้ำหนักในแต่ละสัปดาห์เป็นตัวแปรตั้ง แล้วคูณด้วยหนึ่งร้อยจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักไข่คงเหลือ ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักไข่คงเหลือ} = \frac{\text{น้ำหนักไข่ประจำสัปดาห์}}{\text{น้ำหนักไข่ในสัปดาห์เริ่มต้นการทดลอง}} \times 100 \qquad (3.1)$$

สำหรับค่าความสดของไข่เป็ดสามารถคำนวณได้โดยนำค่าน้ำหนักและความสูงไข่ขาวอย่างน้อย 3 ตำแหน่งของไข่เป็ดที่ทำการตอกในแต่ละสัปดาห์มาเฉลี่ยและใส่ในสมการคำนวณค่า Haugh Unit [4] ดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$Haugh\ Unit = 100 \times \log(h - 1.7w^{0.37} + 7.6) \qquad (3.2)$$

เมื่อ h = ค่าความสูงไข่ขาวเฉลี่ย (mm)

w = น้ำหนักไข่ทั้งฟอง (g)

ข้อมูลเปอร์เซ็นต์น้ำหนักไข่คงเหลือและค่าความสดไข่เป็ดที่ได้ในแต่ละสัปดาห์จะถูกนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างไข่เป็ดที่เป็นตัวควบคุม (Control) และไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นและปริมาณรังสีต่างๆ

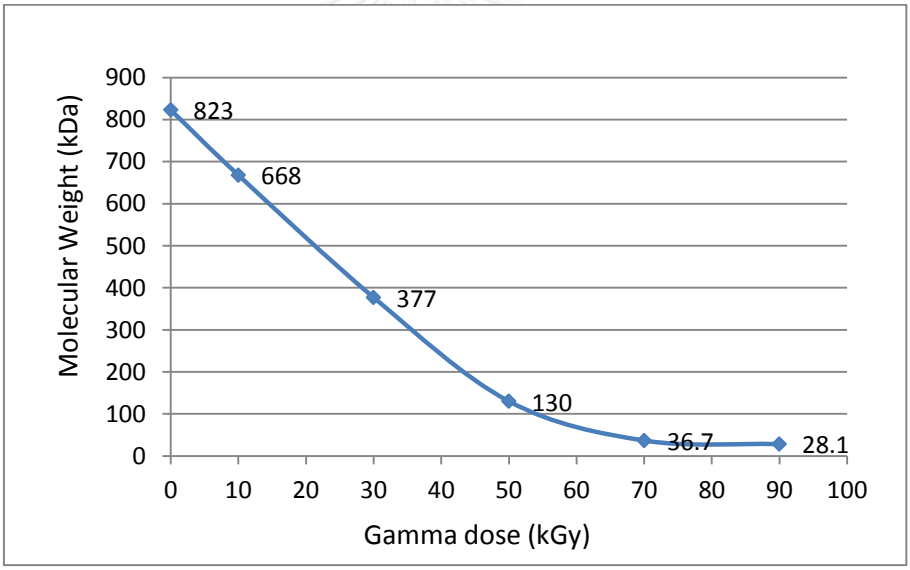
3.3.8 การเตรียมการวัดเชื้อแบคทีเรียแบบ Total Plate Count

นำไข่เป็ดมาทำความสะอาดเปลือกภายนอกด้วยแอลกอฮอล์เพื่อให้ปลอดเชื้อ แล้วจึงทำการตอกและแยกไข่ขาวออกจากไข่แดง นำไข่ขาวไปทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงทำให้เจือจางด้วยสารละลายฟอสเฟสบัพเฟอร์ จากนั้นจึงนำไปเพาะเชื้อโดยการให้อาหารเลี้ยงเชื้อแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ถึง 48 ชั่วโมงบนจานเลี้ยงเชื้อ หลังจากทำการบ่มเชื้อเสร็จจึงนำตัวอย่างออกมานับปริมาณเชื้อที่เจริญเติบโตในหน่วย CFU

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล

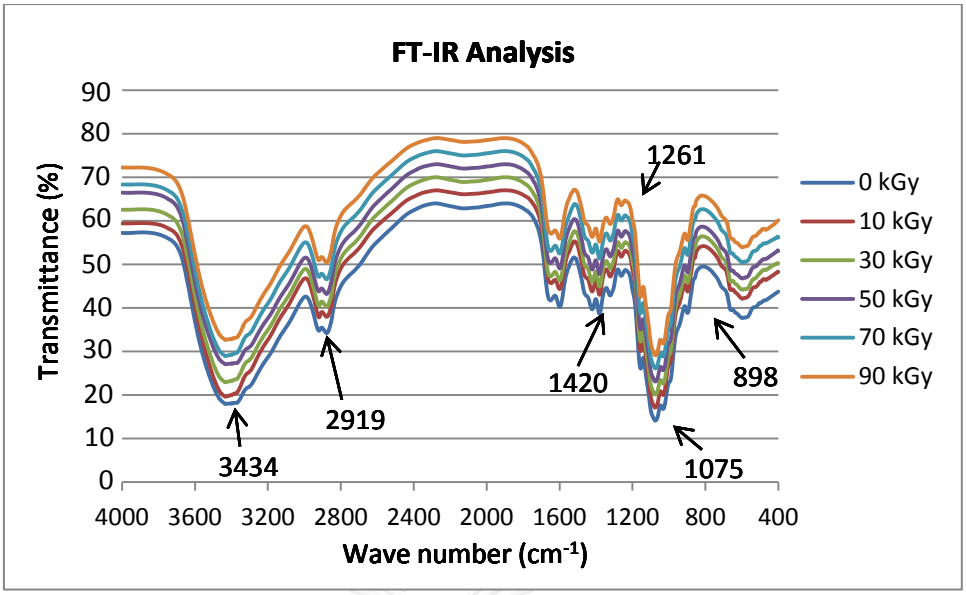
ผลการฉายรังสีเพื่อลดน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน สามารถวัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยในแต่ละช่วงของปริมาณรังสีต่างๆ โดยการส่งสารละลายตัวอย่างไปทำการวัดค่าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้วยวิธี Gel Permeation Chromatography (GPC) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลลดระดับลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยพบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ปริมาณรังสี 10 30 50 70 และ 90 kGy ลดลงเหลือ 668 337 130 36.7 28.1 kDa ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลไคโตซานหลังผ่านการฉายรังสี

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลโดยส่งตัวอย่างไคโตซานไปวัดค่าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) พบว่าโครงสร้างโมเลกุลของไคโตซานหลังได้รับการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างๆ เพื่อลดน้ำหนักโมเลกุลไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากโครงสร้างเก่าก่อนได้รับการฉายรังสี โดยแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลนี้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลไคโตซานด้วยเทคนิค FT-IR

หมายเหตุ : เนื่องจากเส้นกราฟซ้อนกันจึงทำการยกระดับให้แตกต่างกันเพื่อแสดงผลที่ชัดเจน

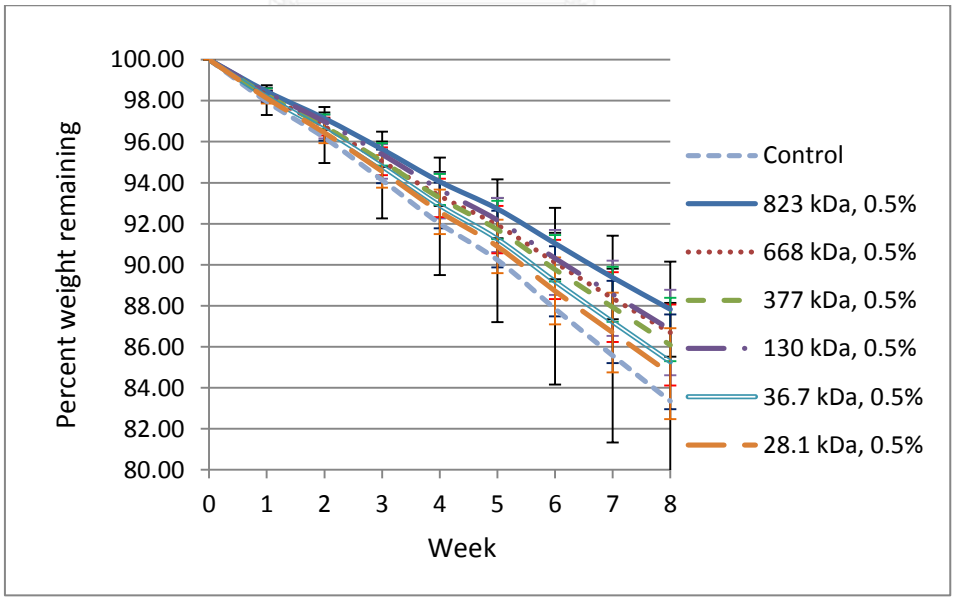
4.3 ผลการเปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือของไข่เป็ด

ผลจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียสและความชื้นในบรรยากาศเฉลี่ยเท่ากับ 60% พบว่าไข่เป็ดที่เป็นตัวแปรควบคุมมีการสูญเสียร้อยละน้ำหนักมากกว่าไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่สภาวะความเข้มข้นและปริมาณรังสีต่างๆ โดยเมื่อนำค่าเฉลี่ยน้ำหนักคงเหลือมาพล็อตเป็นเส้นกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความชันของเส้นกราฟสำหรับไข่เป็ดควบคุมนั้นมีค่ามากกว่าความชันของเส้นกราฟอื่นๆ ที่เป็นไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซาน

เมื่อทำการเปรียบเทียบความชันและน้ำหนักสูญเสียในแต่ละสัปดาห์ของทุกๆ สภาวะความเข้มข้นและปริมาณรังสีจะพบว่า ไข่เป็ดส่วนใหญ่ที่มีการสูญเสียร้อยละน้ำหนักที่ช้าที่สุดนั้นจะเป็นไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายที่ความเข้มข้นสูงที่สุดในทุกกลุ่มปริมาณรังสี โดยไข่เป็ดที่สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำหนักโมเลกุล 823 130 130 และ 28.1 kDa สำหรับความเข้มข้น 0.5 1.0 2.0 และ 5.0% (w/v) ตามลำดับ โดยแสดงดังรูปที่ 4.3 4.4 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยของไข่เป็ดระหว่างตัวควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

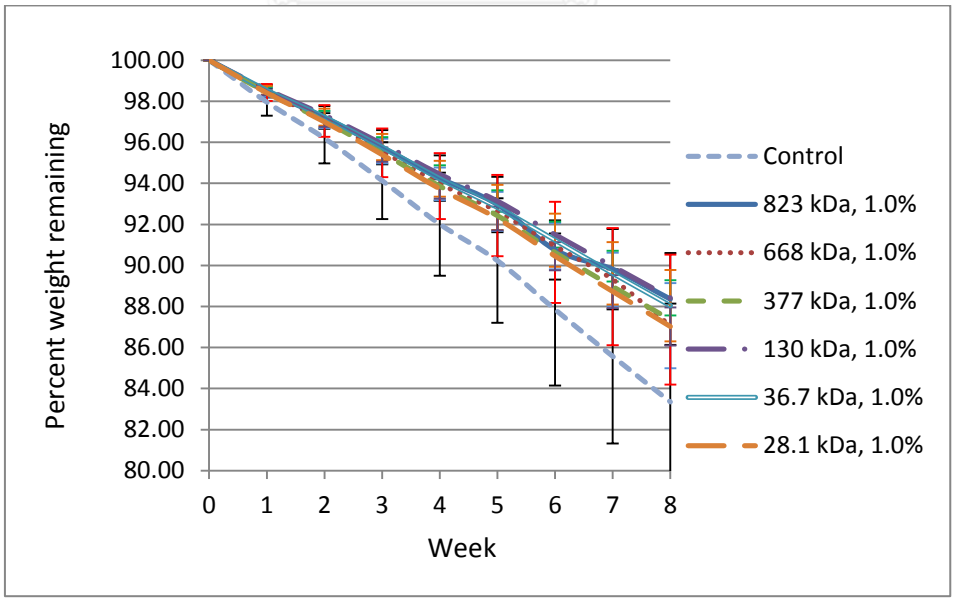
สัปดาห์	ร้อยละน้ำหนักคงเหลือ						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซาน ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
1	97.961	98.451	98.265	98.261	98.406	98.191	98.122
2	96.195	97.136	96.744	96.742	96.982	96.587	96.438
3	94.132	95.633	95.041	95.045	95.384	94.792	94.557
4	92.013	94.053	93.359	93.255	93.677	92.894	92.587
5	90.234	92.725	91.937	91.713	92.176	91.255	90.895
6	87.853	91.040	90.112	89.771	90.316	89.186	88.719
7	85.571	89.380	88.366	87.930	88.564	87.209	86.694
8	83.350	87.828	86.693	86.084	86.838	85.269	84.688



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v)

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยของไข่เป็ดระหว่างตัวควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

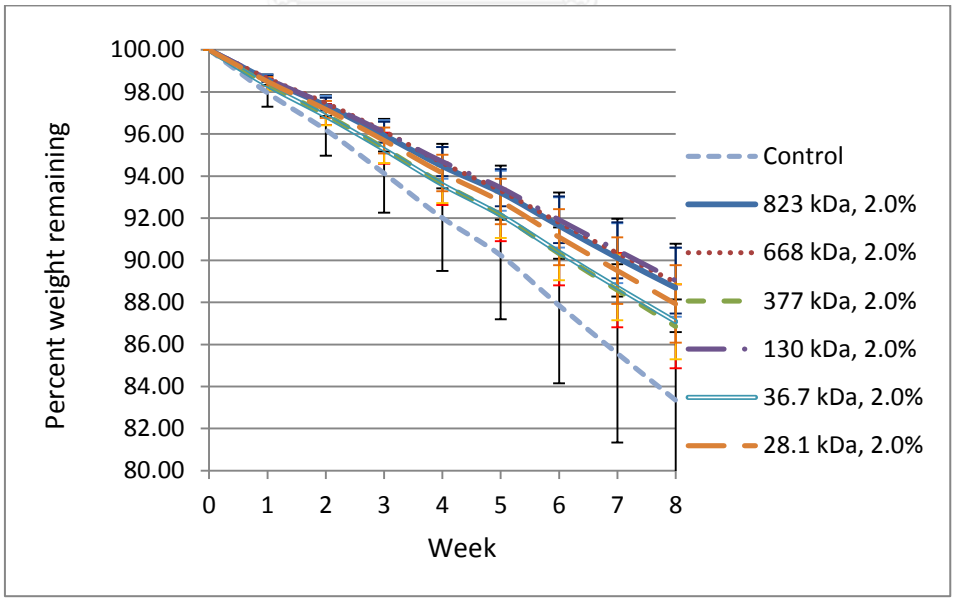
สัปดาห์	ร้อยละน้ำหนักคงเหลือ						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
1	97.961	98.493	98.445	98.428	98.582	98.534	98.409
2	96.195	97.209	97.103	97.037	97.324	97.228	96.996
3	94.132	95.761	95.568	95.483	95.925	95.766	95.400
4	92.013	94.255	93.982	93.862	94.444	94.225	93.732
5	90.234	92.967	92.638	92.426	93.136	92.830	92.290
6	87.853	90.756	90.941	90.632	91.501	91.231	90.455
7	85.571	89.816	89.315	88.971	89.962	89.616	88.732
8	83.350	88.361	87.060	87.361	88.420	88.040	87.024



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v)

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยของไข่เป็ดระหว่างตัวควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

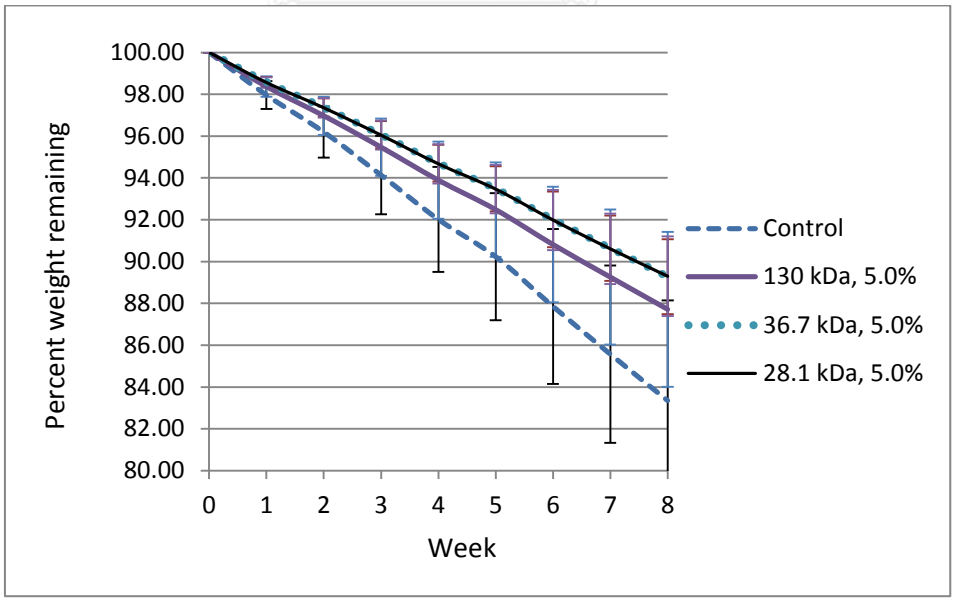
สัปดาห์	ร้อยละน้ำหนักคงเหลือ						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.0% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
1	97.961	98.589	98.654	98.357	98.626	98.313	98.496
2	96.195	97.352	97.479	96.921	97.418	96.854	97.172
3	94.132	95.940	96.128	95.327	96.089	95.264	95.695
4	92.013	94.472	94.629	93.640	94.688	93.595	94.147
5	90.234	93.213	93.304	92.153	93.449	92.141	92.792
6	87.853	91.645	91.792	90.318	91.924	90.389	91.099
7	85.571	90.119	90.340	88.582	90.476	88.709	89.508
8	83.350	88.691	88.953	86.855	89.037	87.085	87.926



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบร้อยละน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยของไข่เป็ดระหว่างตัวควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

สัปดาห์	ร้อยละน้ำหนักคงเหลือ			
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 5.0% (w/v)		
		130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	100.000	100.000	100.000	100.000
1	97.961	98.371	98.588	98.562
2	96.195	96.972	97.368	97.355
3	94.132	95.468	96.066	96.046
4	92.013	93.891	94.699	94.673
5	90.234	92.483	93.480	93.465
6	87.853	90.813	92.012	91.987
7	85.571	89.255	90.638	90.608
8	83.350	87.717	89.277	89.298



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v)

4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความสดของไข่เป็ดด้วยค่าฮอกยูนิต

ผลการเปรียบเทียบค่าความสดของไข่เป็ดด้วยค่าฮอกยูนิตสามารถคำนวณโดยอาศัยสมการที่ 3.2 ซึ่งจำเป็นต้องทราบค่าน้ำหนักของไข่เป็ด (กรัม) และความสูงเฉลี่ยของไข่ขาว(มิลลิเมตร) โดยจากการเก็บค่าน้ำหนักและตอกไข่เป็ดเพื่อเก็บค่าความสูงของไข่ขาว โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่างต่อสภาวะต่อสัปดาห์ เป็นเวลาทั้งหมด 8 สัปดาห์

จากผลการทดลองพบว่า ไข่เป็ดควบคุมมีอัตราการลดลงของค่าฮอกยูนิตมากกว่าไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่สภาวะต่างๆ โดยจะเห็นได้ว่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไปนั้นค่าฮอกยูนิตของไข่เป็ดควบคุมมีการลดลงมากกว่าไข่เป็ดที่สภาวะอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด และลดลงจนมีค่าเท่ากับ 0 ในสัปดาห์ที่ 7

สำหรับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นต่างๆ นั้นมีความสามารถชะลอการลดลงของค่าฮอกยูนิตได้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน โดยแสดงค่าเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมาได้ดังรูปที่ 4.7 4.8 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

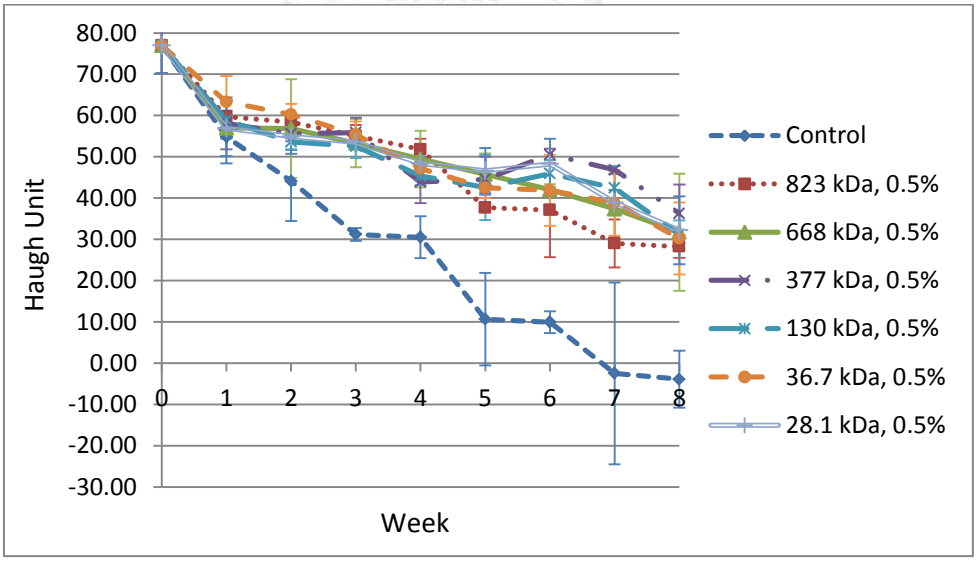
เนื่องจากค่าฮอกยูนิตสามารถแปลงค่าเป็นเกรดของไข่เป็ดได้ จึงได้ทำการแปลงค่าฮอกยูนิตเป็นเกรดของไข่เป็ดเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาผลการวิจัย โดยอ้างอิงมาตรฐานคุณภาพของไข่เป็ดโดยอ้างอิงจากกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา [15] (USDA) ซึ่งแบ่งชั้นคุณภาพตามความสดตามช่วงค่าฮอกยูนิคไว้เป็นระดับ AA (100-72) A (71-60) B (59-30) และ C (ต่ำกว่า 29) พบว่าภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง น้ำหนักโมเลกุลที่ 36.7 และ 668 kDa ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 2.0% (w/v) ตามลำดับ สามารถชะลอการลดลงของเกรดไข่เป็ดได้มากที่สุด

สำหรับในส่วนของความเข้มข้น 1.0 และ 5.0% พบว่าเกรดของไข่เป็ดในแต่ละน้ำหนักโมเลกุลมีค่าใกล้เคียงกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

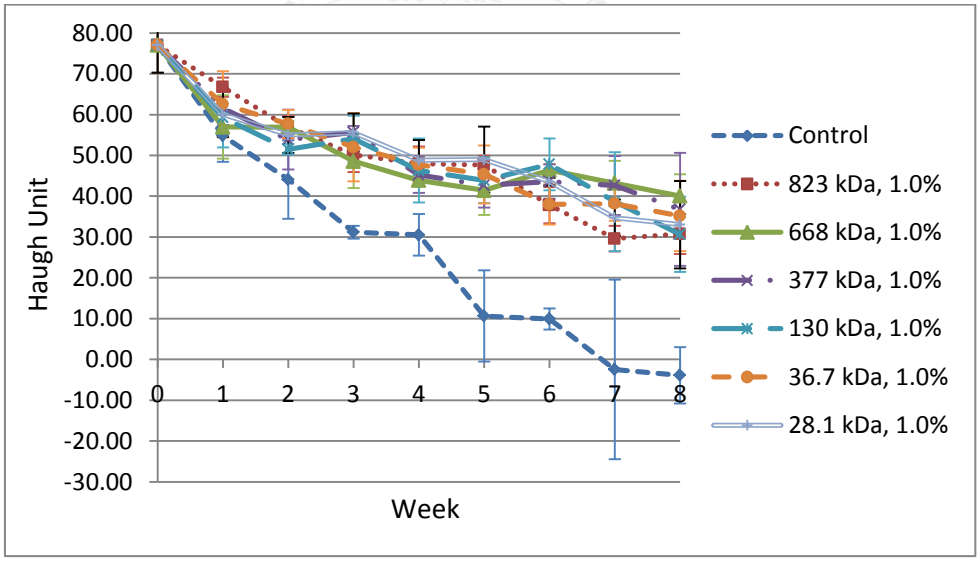
สัปดาห์	ค่าฮอกยูนิต (Haugh Unit)						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.5% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01
1	54.80	59.69	56.98	58.12	58.90	63.29	56.91
2	44.09	58.44	56.88	55.60	53.61	60.25	54.90
3	31.19	55.04	53.30	55.85	52.56	55.37	53.55
4	30.51	51.80	49.45	43.93	45.34	47.15	48.37
5	10.64	37.66	45.77	44.52	42.55	42.49	46.58
6	9.93	37.10	42.00	50.56	45.92	41.84	48.27
7	-2.47	29.02	37.35	46.83	42.45	38.82	38.91
8	-3.89	28.26	31.73	36.26	31.17	30.21	32.20



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v)

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

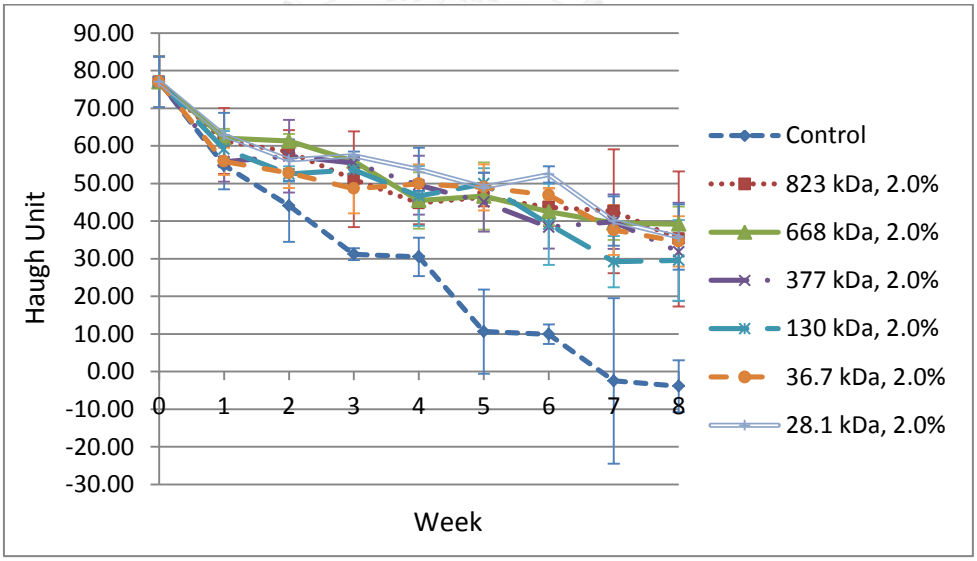
สัปดาห์	ค่าฮอกยูนิต (Haugh Unit)						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01
1	54.80	66.74	56.96	61.51	59.28	62.52	60.08
2	44.09	56.90	56.90	53.86	51.53	57.72	55.03
3	31.19	50.13	48.57	55.68	54.05	52.02	55.60
4	30.51	47.93	43.88	45.22	46.31	47.72	48.79
5	10.64	47.68	41.43	42.68	43.89	45.36	48.97
6	9.93	37.81	46.40	43.61	47.81	37.97	43.56
7	-2.47	29.57	43.19	42.63	38.70	38.17	34.73
8	-3.89	30.74	40.06	36.77	30.64	35.17	33.02



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v)

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

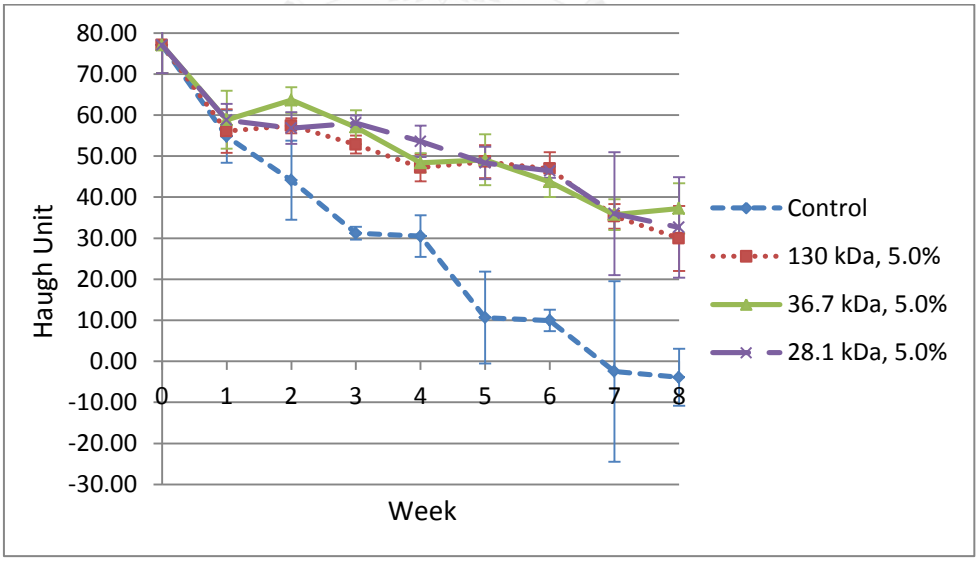
สัปดาห์	ค่าฮอกยูนิต (Haugh Unit)						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.0% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01
1	54.80	61.29	62.07	55.76	59.13	55.87	62.78
2	44.09	58.39	61.28	57.25	52.51	52.75	56.24
3	31.19	51.10	55.89	55.42	53.65	48.64	57.33
4	30.51	44.75	45.46	49.55	46.67	49.91	53.74
5	10.64	46.28	46.63	45.06	49.88	48.96	49.02
6	9.93	43.70	42.46	38.40	39.15	46.90	52.38
7	-2.47	42.62	39.49	39.83	29.21	37.63	40.03
8	-3.89	35.27	39.20	31.82	29.57	34.61	35.77



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v)

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยฮอกยูนิตระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

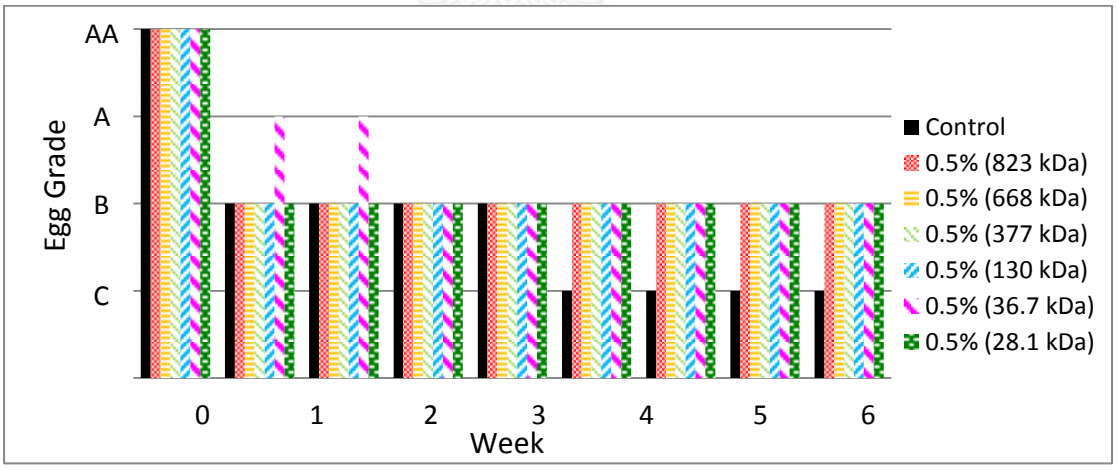
สัปดาห์	ค่าฮอกยูนิต (Haugh Unit)			
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 5.0% (w/v)		
		130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	77.01	77.01	77.01	77.01
1	54.80	56.09	58.86	58.78
2	44.09	57.40	63.66	56.83
3	31.19	52.79	57.05	58.08
4	30.51	47.18	48.36	53.57
5	10.64	48.63	49.10	48.33
6	9.93	46.90	43.72	46.42
7	-2.47	35.31	35.74	36.00
8	-3.89	29.96	37.23	32.63



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบค่าฮอกยูนิตที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v)

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเกรดระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

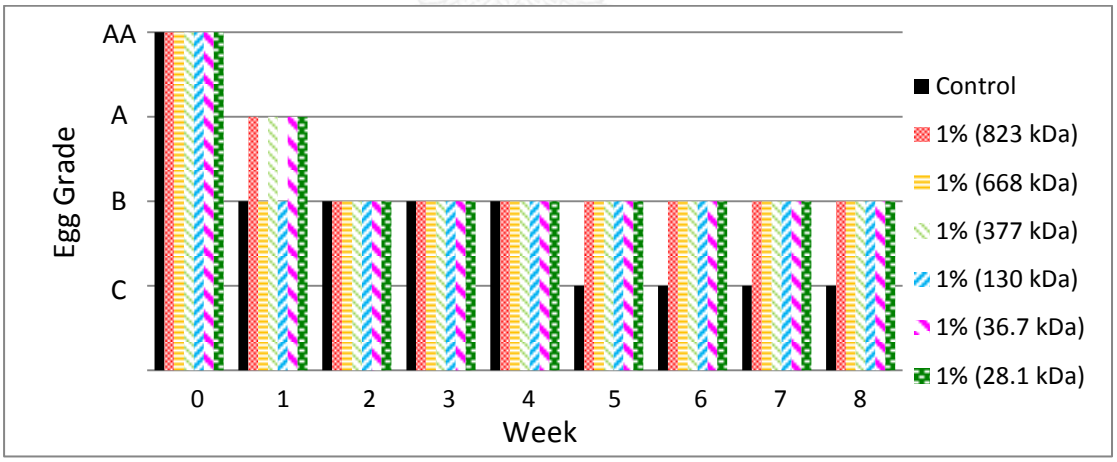
สัปดาห์	เกรดของไข่ (Egg Grade)						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.5% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA
1	B	B	B	B	B	A	B
2	B	B	B	B	B	A	B
3	B	B	B	B	B	B	B
4	B	B	B	B	B	B	B
5	C	B	B	B	B	B	B
6	C	B	B	B	B	B	B
7	C	B	B	B	B	B	B
8	C	B	B	B	B	B	B



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบเกรดของไข่ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v)

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเกรดระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

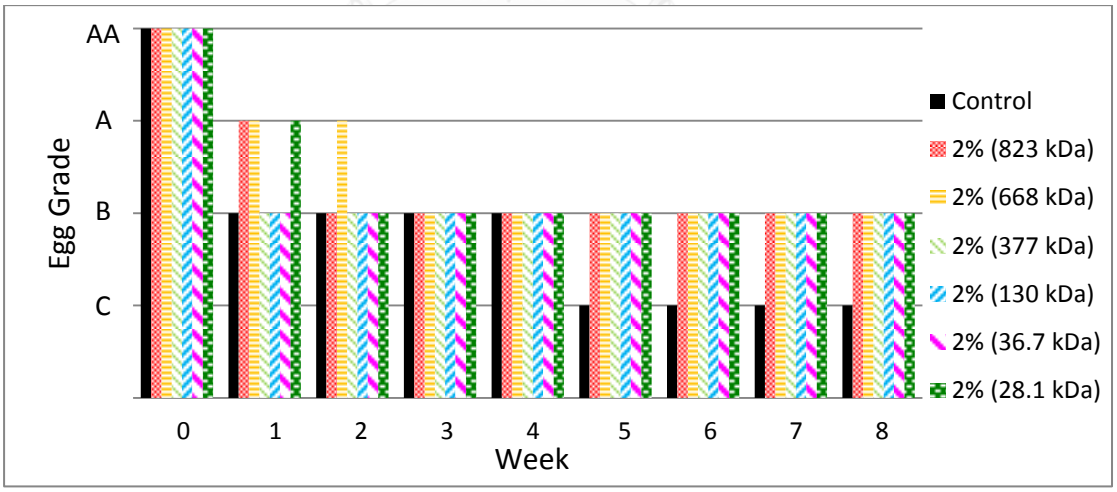
สัปดาห์	เกรดของไข่ (Egg Grade)						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA
1	B	A	B	A	B	A	A
2	B	B	B	B	B	B	B
3	B	B	B	B	B	B	B
4	B	B	B	B	B	B	B
5	C	B	B	B	B	B	B
6	C	B	B	B	B	B	B
7	C	B	B	B	B	B	B
8	C	B	B	B	B	B	B



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบเกรดของไข่ที่ความเข้มข้น 1.0% (w/v)

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเกรดระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

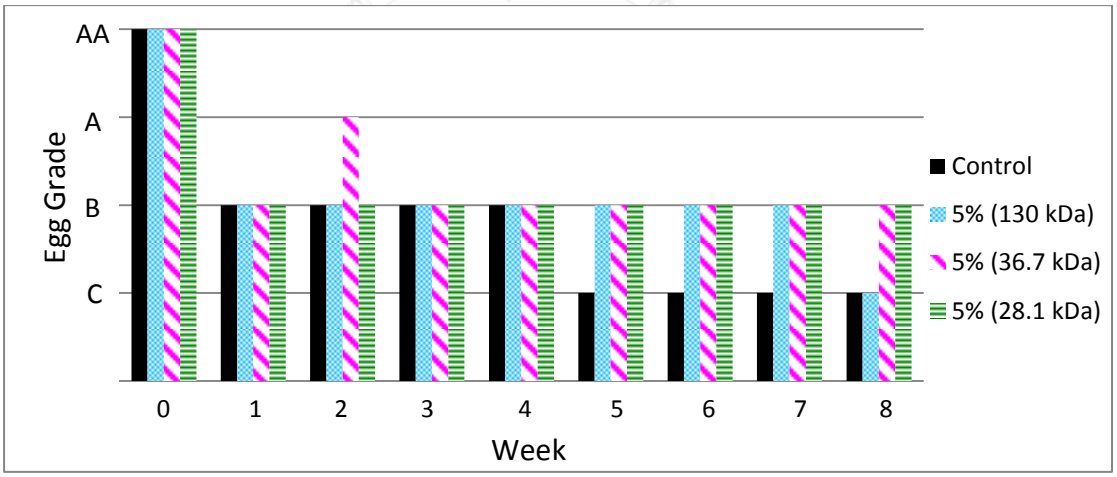
สัปดาห์	เกรดของไข่ (Egg Grade)						
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.0% (w/v)					
		823 kDa	668 kDa	377 kDa	130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA
1	B	A	A	B	B	B	A
2	B	B	A	B	B	B	B
3	B	B	B	B	B	B	B
4	B	B	B	B	B	B	B
5	C	B	B	B	B	B	B
6	C	B	B	B	B	B	B
7	C	B	B	B	B	B	B
8	C	B	B	B	B	B	B



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบเกรดของไข่ที่ความเข้มข้น 2.0% (w/v)

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเกรดระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v) ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นเฉลี่ย 60%

สัปดาห์	เกรดของไข่ (Egg Grade)			
	ไข่เป็ดควบคุม	ไข่เป็ดเคลือบสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 5.0% (w/v)		
		130 kDa	36.7 kDa	28.1 kDa
0	AA	AA	AA	AA
1	B	B	B	B
2	B	B	A	B
3	B	B	B	B
4	B	B	B	B
5	C	B	B	B
6	C	B	B	B
7	C	B	B	B
8	C	C	B	B



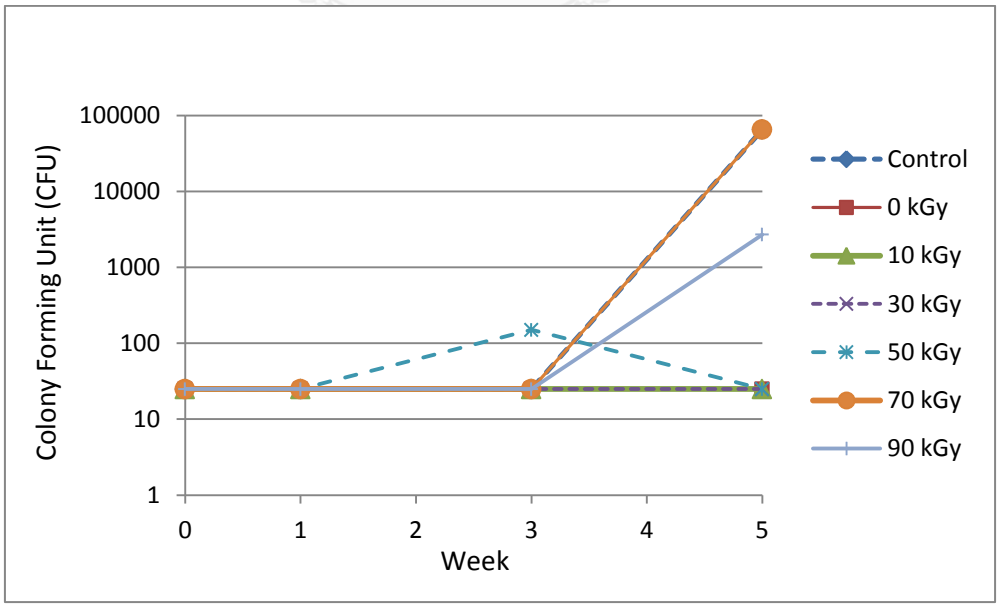
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบเกรดของไข่ที่ความเข้มข้น 5.0% (w/v)

4.5 ผลการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาว

ผลการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาว สามารถวัดค่า Colony Forming Unit (CFU) ในแต่ละตัวอย่างโดยทำการส่งไข่เป็ดควบคุมและไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารไคโตซานไปทำการวัดค่าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้วยวิธี Total Plate Count โดยแสดงข้อมูลเชื้อจุลินทรีย์ในตารางที่ 4.13 และเส้นกราฟดังรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาวระหว่างไข่เป็ดควบคุมกับไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ (Total Plate Count) (CFU/Gram)							
สัปดาห์	ไข่เป็ดควบคุม	ความเข้มข้นสารละลายไคโตซาน 2% (w/v)					
		0 kGy	10 kGy	30 kGy	50 kGy	70 kGy	90 kGy
0	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25
1	<25	<25	<25	<25	<25	<25	<25
3	<25	<25	<25	<25	150	<25	<25
5	65,000	<25	<25	<25	<25	65,000	2,700

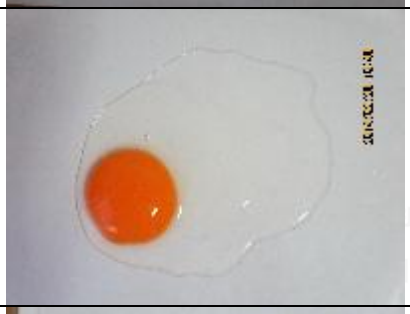
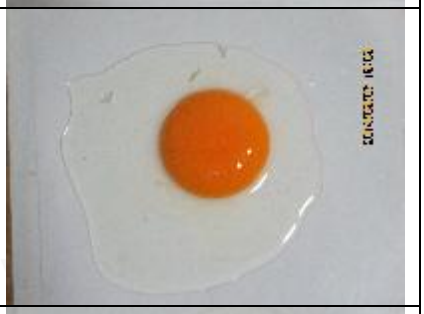
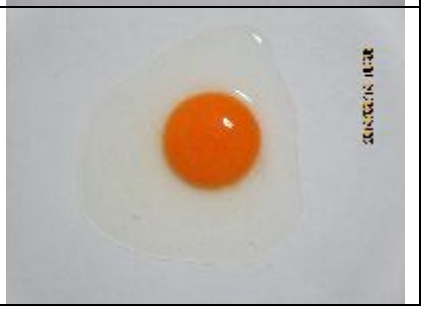


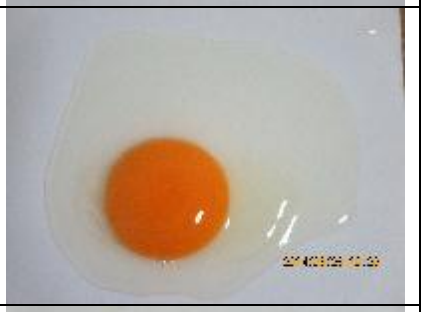
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาว

4.6 ผลการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ดหลังทำการตอก

ลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ด พบว่าไข่เป็ดควบคุมเกิดการเน่าเสียได้เร็วกว่าไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นต่างๆ โดยมีการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไข่เป็ดดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไข่เป็ดควบคุมเทียบกับไข่เป็ดที่เคลือบสารละลายไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุล 28.1 kDa ความเข้มข้น 5.0%

สัปดาห์	Control	28.1 kDa (90 kGy)
1		
2		
3		
4		

สัปดาห์	Control	28.1 kDa (90 kGy)
5		
6	เน่าเสีย	
7	เน่าเสีย	
8	เน่าเสีย	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการลดน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ได้รับการฉายรังสีแกมมา

น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานมีการลดลงตามลำดับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการลดทอนน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วยกรรมวิธีการฉายรังสีแกมมา เนื่องจากรังสีแกมมาเข้าไปทำอันตรกิริยากับสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ของไคโตซานทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนและเกิดสภาวะกระตุ้นของโมเลกุลพอลิเมอร์ โดยได้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองของ ชนิตา เรืองผัน [10] ซึ่งมีผลทำให้เกิดการตัดทอนพันธะพอลิเมอร์ขึ้น โดยน้ำหนักโมเลกุลนั้นลดลงและแปรผกผันตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น

5.1.2 ผลการคงโครงสร้างโมเลกุลไคโตซานหลังได้รับรังสีแกมมา

โครงสร้างโมเลกุลของไคโตซานเมื่อได้รับการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

5.1.3 ผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ด

ผลการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ดที่รับได้การเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานพบว่าสารละลายไคโตซานที่สภาวะความเข้มข้นความเข้มข้นสูงสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ โดยภายใต้เงื่อนไขของสภาวะที่ใช้ในการทดลองพบว่าในสัปดาห์ที่ 8 พบว่าสามารถชะลอน้ำหนักคงเหลือน้ำหนักได้มากที่สุดที่ 89.30% ซึ่งคงเหลือมากกว่าไข่เป็ดควบคุมที่มีน้ำหนักคงเหลืออยู่ที่ 83.35%

5.1.4 ผลของน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ด

การเปรียบเทียบผลอันเกิดจากความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลพบว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานส่งผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Error Bar) อยู่ช่วงค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นเดียวกันจึงสามารถเลือกใช้สภาวะน้ำหนักโมเลกุลใดก็ได้มาใช้ในการเคลือบเพื่อชะลอน้ำหนักสูญเสีย

5.1.5 ผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อค่าความสดของไข่เป็ด

ผลการทดลองพบว่าในทุกๆ ความเข้มข้นของทุกสภาวะน้ำหนักโมเลกุลที่ใช้ในการทดลอง แนวโน้มการชะลอการสูญเสียความสดอันเนื่องมาจากผลของความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อทำการเทียบค่าฮอกยูนิตซึ่งเป็นตัวแปรแทนความสดของไข่เป็ดกับมาตรฐานคุณภาพของไข่เป็ดโดยอ้างอิงจากกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา [15] (USDA) ซึ่งแบ่งชั้นคุณภาพตามความสดตามช่วงค่าฮอกยูนิคไว้เป็นระดับ AA (100-72) A (71-60) B (59-30) และ C (ต่ำกว่า 29) พบว่า ที่ความเข้มข้น 1.0% และ 2.0% สามารถชะลอความสดให้อยู่ในระดับชั้นคุณภาพ A ได้ 1-2 สัปดาห์ก่อนที่จะลดลงเหลือชั้นคุณภาพ B ในสัปดาห์ที่ 3 โดยความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานในแต่ละสภาวะนั้นแตกต่างกันเกิน 10 หน่วย ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพของไข่เป็ดในแต่ละสภาวะการทดลองที่ความเข้มข้นต่างกัน ขณะที่ไข่เป็ดควบคุมนั้นมีการลดระดับชั้นคุณภาพลงเหลือชั้น B ตั้งแต่สัปดาห์ที่แรกเป็นต้นไป

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าความสดของไข่เป็ดร่วมกับลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ดหลังจากการตอกพบว่า เยื่อหุ้มไข่แดงเริ่มเสียการคงรูปทำให้เมื่อทำการตอกแล้วไข่แดงจึงแตก ซึ่งเป็นผลมาจากการกระบวนการเสื่อมสลายตามธรรมชาติของไข่ขาวซึ่งถูกย่อยสลายจากโปรตีนเป็นกรดอะมิโน [5] จากการที่ตอกแล้วสภาพทางกายภาพของไข่ไม่สมบูรณ์นี้ ดังนั้นจึงพิจารณาอายุการเก็บรักษาที่นานที่สุดไว้ที่สัปดาห์ที่ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.6 ผลของน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานต่อค่าความสดของไข่เป็ด

ผลการทดลองพบว่าในสภาวะความเข้มข้นเดียวกันนั้น แนวโน้มผลการชะลอการลดลงของค่าฮอกยูนิตที่มีผลมาจากน้ำหนักโมเลกุลนั้นมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อทำการเทียบค่าฮอกยูนิตกับมาตรฐานคุณภาพของไข่เป็ดโดยอ้างอิงจากกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา [15] (USDA) แล้วพบว่า ในสัปดาห์ที่ 1-2 ที่ความเข้มข้น 0.5% ไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุล 36.7 และ 28.1 kDa สามารถชะลอความสดให้อยู่ในชั้นคุณภาพ A ได้ เช่นเดียวกันกับที่ความเข้มข้น 1.0% ไข่เป็ดทุกสภาวะยกเว้นที่น้ำหนักโมเลกุล 668 kDa สามารถคงความสดไว้ที่ชั้นคุณภาพ A ได้เช่นกันในสัปดาห์แรก และที่สภาวะความเข้มข้น 2.0% ที่น้ำหนักโมเลกุล 823 668 และ 28.1 kDa สามารถชะลอความสดไว้ที่ชั้นคุณภาพ A ได้ในสัปดาห์แรก

สำหรับในสัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไปนั้นของสภาวะอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวไปข้างต้น ผลที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างน้ำหนักโมเลกุลนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับผลความแตกต่างจากความเข้มข้น โดยเมื่อพิจารณาค่าฮอกยูนิตในแต่ละสัปดาห์จะเห็นได้ว่าค่าฮอกยูนิตมีความแตกต่างกันไม่เกิน 10 หน่วย ซึ่งยังอยู่ในชั้นคุณภาพเดียวกันคือ ชั้นคุณภาพ B (ค่าฮอกยูนิตอยู่ระหว่าง 59-30 หน่วย) ทั้งนี้ได้อ้างอิงโดยเทียบกับลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ดหลังการตอกด้วย ซึ่งพิจารณาอายุการเก็บรักษาไว้นานที่สุดที่สัปดาห์ที่ 5

5.1.7 ลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ดหลังตอกในแต่ละสัปดาห์

ผลการตอกไข่เป็ดในแต่ละสัปดาห์ในแต่ละสภาวะการทดลองพบว่าลักษณะของไข่เป็ดในสัปดาห์ที่ 5 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 ไข่แดงเริ่มมีการกระจายตัว และเริ่มคงรูปน้อยลง แต่ยังไม่มีการเน่าเสีย ในขณะที่ไข่เป็ดควบคุมเริ่มมีกระจายตัวของไข่แดงตั้งแต่สัปดาห์ 3 จากนั้นเริ่มมีการเน่าเสียในสัปดาห์ที่ 4 และเน่าเสียอย่างเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 5 ซึ่งจากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ไข่เป็ดควบคุมสามารถอยู่ได้นาน 3 สัปดาห์ ส่วนไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานอยู่ได้นานถึง 5 สัปดาห์ (วัดถึงสัปดาห์ที่ไข่แดงเริ่มมีการกระจายตัว)

5.1.8 ผลการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาว

จากผลการทดลองพบว่าในสัปดาห์แรก ไข่เป็ดทุกสภาวะที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ที่ความเข้ม 2.0% และไข่เป็ดควบคุมพบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า 25 CFU/Gram ต่อมาในสัปดาห์ที่ 3 พบว่าไข่เป็ดตัวอย่างที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 130 kDa (50 kGy) มีเชื้อจุลินทรีย์ 150 CFU/Gram ในขณะที่ไข่เป็ดตัวอย่างที่สภาวะอื่นๆ มีเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า 25 CFU/Gram และในสัปดาห์ที่ 5 พบว่าไข่เป็ดควบคุมและไข่เป็ดตัวอย่างที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 36.7 kDa (70 kGy) มีการเพิ่มของเชื้อจุลินทรีย์มากกว่า 6.5×10^4 CFU/Gram ในขณะที่ไข่เป็ดตัวอย่างที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 28.1 kDa (90 kGy) มีเชื้อจุลินทรีย์ 2.7×10^3 CFU/Gram ส่วนไข่เป็ดที่สภาวะอื่นๆ มีเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า 25 CFU/Gram

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 ผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ด

ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานในแต่ละสภาวะมีผลต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ดโดยตรง โดยพบว่าสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้นสูงสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ของ S. Bhale และคณะ [16] ซึ่งได้ทำการวิจัยโดยใช้สารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 1.0% และ 2.0% ตามลำดับพบว่าที่ความเข้มข้นสูงสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ

นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Y. Jiang และ Y. Li [17] ซึ่งได้ทำการศึกษาการชะลอน้ำหนักสูญเสียลำไยโดยใช้สารละลายไคโตซานเป็นสารเคลือบผิว โดยมีความเข้มข้นคือ 0.5% 1.0% และ 2.0% ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้น 2.0% สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง

5.2.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ด

สาเหตุที่ผลการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของไข่เป็ดที่เกิดจากความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายไคโตซานไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญนั้นอาจมีสาเหตุมาจากผลของความเข้มข้นของสารละลายมีอิทธิพลต่อร้อยละน้ำหนักคงเหลือมากกว่าผลจากความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล

ผลการทดลองการเคลือบไข่เป็ดด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่ำ 0.5% (w/v) พบว่าในสัปดาห์ที่ 8 ร้อยละน้ำหนักคงเหลือที่น้อยที่สุดในภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการทำการทดลองคือไข่เป็ดที่เคลือบสารละลายไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุล 28.1 kDa และเพิ่มขึ้นตามลำดับจนถึงร้อยละน้ำหนักคงเหลือมากที่สุดคือ ไข่เป็ดที่เคลือบสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 823 kDa ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองความสามารถในการซึมผ่านของของเหลวผ่านแผ่นเยื่อไคโตซานจากงานวิจัยของ Xi-Guang และคณะ [18] ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากันไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยจะส่งผลให้เกิดการซึมผ่านได้ง่ายกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายขึ้นเป็น 1.0% 2.0% และ 5.0% ตามลำดับพบว่า ผลความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลมีความแตกต่างลดลงและไม่เป็นไปตามลำดับแนวโน้มเดิมที่เมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง ความสามารถในการซึมผ่านจะเพิ่มขึ้น

5.2.3 ผลของความเข้มข้นของไคโตซานต่อค่าความสดของไข่เป็ด

ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าฮอกยูนิต โดยมีผลทางอ้อมกับน้ำหนักคงเหลือของไข่เป็ดซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณค่าฮอกยูนิตเท่านั้น ซึ่งค่าน้ำหนักของไข่เป็ดส่งผลกระทบน้อยกว่าค่าความสูงของไข่ขาวส่วนข้น ทั้งนี้ปัจจัยที่ทำให้ความสูงของไข่ขาวลดลงในแต่ละสัปดาห์เกิดจากปัจจัยอื่นๆ เช่น อายุของแม่เป็ด ลักษณะของแม่เป็ด ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพภายในไข่เป็ดซึ่งมีผลต่ออัตราการเสื่อมสลายของโปรตีนที่ไม่เท่ากัน ซึ่งการเสื่อมสลายตามธรรมชาตินี้ส่งผลต่อความสูงของไข่ขาวโดยตรง

5.2.4 ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อค่าความสดของไข่เป็ดเคลือบไคโตซาน

น้ำหนักโมเลกุลแสดงผลต่อค่าฮอกยูนิตคล้ายกับผลของความเข้มข้น โดยสังเกตได้ว่าที่ความเข้มข้นเดียวกันนั้น น้ำหนักโมเลกุลส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าฮอกยูนิตไม่ต่างกันมากนักเมื่อเทียบกับมาตรฐานชั้นคุณภาพในช่วงเวลาของสัปดาห์เดียวกัน โดยสาเหตุที่ทำให้ผลความแตกต่างระหว่างน้ำหนักโมเลกุลมีค่าน้อยนี้คาดว่ามาจากผลของปัจจัยอื่นเช่นเดียวกับผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรความเข้มข้นซึ่งก็คือปัจจัยอื่นๆเช่น อายุของแม่เป็ด ลักษณะของแม่เป็ด ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพภายในไข่เป็ด

5.2.5 ลักษณะทางกายภาพของไข่เป็ดและผลของเชื้อจุลินทรีย์

การเน่าเสียที่เกิดขึ้นของไข่เป็ดควบคุมคาดว่าเกิดจากการที่เชื้อจุลินทรีย์ภายนอกเปลือกไข่เข้าไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจนเกิดการเน่าเสียขึ้น โดยอ้างอิงจากผลการส่งตัวอย่างไปวัดเชื้อจุลินทรีย์ในไข่ขาว ซึ่งพบว่าเชื้อจุลินทรีย์นั้นเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 สัปดาห์ หากเทียบกับเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างอื่นๆ ที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานพบว่าค่า Total Plate Count ของเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่า 6.5×10^4 CFU/Gram ซึ่งจากผลการตอกเพื่อดูลักษณะภายในพบว่าไข่เป็ดควบคุมมีการเน่าเสียจริง ในขณะที่สภาวะอื่นๆ นั้นกลับไม่พบค่าของเชื้อจุลินทรีย์ หรือพบน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องผลการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไคโตซานที่มีต่อเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆของ H. K. No และคณะ [19] โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ Pseudomonas fluorescens และ Bacillus cereus ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไข่ พบว่าสามารถยับยั้งได้ด้วยไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 746 kDa (สำหรับ Pseudomonas fluorescens) และ 470 kDa (สำหรับ Bacillus cereus) ได้ดีที่สุดภายใต้สภาวะที่ใช้ในการทดลอง โดยช่วงค่า

น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานนี้มีผลสอดคล้องกับผลการยับเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ช่วงค่าน้ำหนักโมเลกุลที่ 823 – 130 kDa ซึ่งตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์เช่นกัน

นอกจากนี้จากการตอกยังพบว่าไข่เป็ดที่ได้รับการเคลือบสารละลายไคโตซานไม่เกิดการเน่าเสีย มีเพียงผลจากการเสื่อมสลายตามธรรมชาติของไข่ขาวเท่านั้นที่ทำให้ไข่แดงเกิดการกระจายตัว

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับไข่ประเภทอื่นๆ

5.3.2 ควรนำหลักการทางเศรษฐศาสตร์มาใช้เพื่อคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุน

5.3.3 ควรศึกษาผลกระทบของ pH ของไคโตซานต่อการชะลอน้ำหนักและความสด

5.3.4 ควรทำการศึกษาที่อุณหภูมิต่ำเช่นที่ 7 องศาเซลเซียสเพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาเสมือนอยู่ในตู้เย็น

5.3.5 ควรทำการศึกษาวิจัยสารชีวภาพชนิดอื่นเพิ่มเพื่อนำมาเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษากับวิธีการเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน

5.3.6 ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบด้านอุณหภูมิที่มีต่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

5.3.7 ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลลัพธ์การยืดอายุการเก็บรักษาด้วยการผสมไคโตซานหลายน้ำหนักโมเลกุลในสัดส่วนปริมาณต่างๆ

5.3.8 ควรมีการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ที่เปลือกไข่

5.3.9 ควรมีการศึกษาประเภทและสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบบนเปลือกไข่เป็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระยะเวลาการเก็บรักษา

รายการอ้างอิง

1. มาตรฐานสินค้าเกษตร, ไข่เป็ด. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555. มกษ. 6703-2555.
2. Domrongpokkaphan, V., *Eggshell Utilization Technology* The Journal of Applied Science, 2555. 11(2): p. 75-83.
3. อโนมา เมืองประณีต, ส่วนประกอบของไข่. pirun.ku.ac.th, 2552.
4. K. N. Monira, M. Salahuddin and G. Miah, *Effect of Breed and Holding Period on Egg Quality Characteristics of Chicken.* International Journal of Poulty Science, 2546. 2(4): p. 261-263.
5. ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และศ.ดร. นิธิยา รัตนาปนนท์. *Yolk/*ไข่แดง. foodnetworksolution.com/wiki/word/0556/yolk-ไข่แดง 2557.
6. สุกัญญา ยาเสร็จ, การยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่โดยเคลือบด้วยไคโตซานที่เตรียมจากการฉายรังสีแกมมา, in ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี. 2554, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
7. ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และศ.ดร. นิธิยา ธัตนาปนนท์. *Egg/*ไข่. foodnetworksolution/wiki/word/1146/egg-ไข่ 2557.
8. ผศ.นสพ.ดร. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ, ซื้อไข่ไก่ไข่เป็ดมาแล้วจะล้างหรือไม่ล้างดี*?*, in *ModernMom*. 2555. p. 188-189.
9. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, พาราฟินเหลวสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร, in ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2551.
10. ชนิตา เรืองผัน, การหาน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมของไคโตซานในการเร่งการเจริญเติบโตของพืชโดยวิธีฉายรังสีแกมมาร่วมกับวิธีทางเคมี, in ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี. 2549, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
11. พรศิริ เพชรศรีช่วงและมณฑารพ อมาภัย. การใช้ไคติน ไคโตซาน และไคโตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อเพิ่มผลิตทางการเกษตร. personal.sut.ac.th/montarop 2556.
12. จารุณี ไกรแก้ว, การใช้ไอโซโทปรังสีในอุตสาหกรรม. บทความสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย (Nuclear Society of Thailand Articles), 2554.
13. Le Hai et al., *Radiation depolymerization of chitosan to prepare oligomer.* Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2547(B): p. 466-470.
14. เต็มสุข แตงหอมและคณะ, การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล, in ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. 2547, มหาวิทยาลัยบูรพา.

15. Pasqoal Carrazzoni de Menezes, *Egg quality of laying hens in different conditions of storage ages and housing densities.* Revista Brasileira de Zootecnia, 2555. 41(9): p. 2064-2069.

16. S. Bhale et al., *Chitosan coating improves shelf life of eggs.* Sensory and Nutritive Qualities of Food, 2546.

17. Yueming JiangและYuebiao Li, *Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit.* Food Chemistry, 2544. 73: p. 139-143.

18. Xi-Guang et al., *Molecular Affinity and Permeability of Different Molecular Weight Chitosan Membranes.* Journal of Agicultural and Food Chemistry, 2545.

19. H. K. No et al., *Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weight.* International Journal of Food Microbiology, 2545. 74: p. 657-72.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกัตตพล ชมไพบูลย์ เกิดวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2555 ได้รับทุนศึกษาดูงานด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์จากสำนักงานปรมาณูประเทศญี่ปุ่นในปี 2556 และได้รับทุนศึกษาและวิจัยทางด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์จากรัฐบาลญี่ปุ่นในปี 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University