ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตแซน : ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม และการใช้ประโยชน์

Biodegradable Film from Chitosan : Influence of Processing Variables on Properties of Film and Application

นพรัตน์ มะเห

Nopparat Mahae

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Fishery Products Technology

Prince of Songkla University

2541

เลขหมู่ QP702.C5 น24 2541 ฉ.2

Bib Key 144643

ชื่อวิทยานิพนธ์	ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตแซน : ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม และการใช้ประโยชน์
ผู้เขียน	นางสาวนพรัตน์ มะเห
สาขาวิชา	เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.................................ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณดร)

.................................กรรมการ
(อาจารย์ ศิริวรรณ ตีรณเสถียรพันธ์)

คณะกรรมการสอบ

.................................ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณดร)

.................................กรรมการ
(อาจารย์ ศิริวรรณ ตีรณเสถียรพันธ์)

.................................กรรมการ
(อาจารย์ วรพงษ์ อัศวเกศมณี)

.................................กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วัลลี สุวจิตตานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง

....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ก้าน จันทร์พรหมมา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตแซน : ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม และการใช้ประโยชน์
ผู้เขียน	นางสาวนพรัตน์ มะเห
สาขาวิชา	เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง
ปีการศึกษา	2540

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตแซน และส่วนผสมของไคโตแซนกับอนุพันธ์เซลลูโลส พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไคโตแซนเพิ่มขึ้น ฟิล์มไคโตแซนที่ผลิตได้มีความหนา ความหนาแน่นผิวหน้า และค่าการต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) เมื่อความเข้มข้นของไคโตแซนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 1 และเมื่อความเข้มข้นของไคโตแซนเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ1 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย($p>0.05$) สำหรับฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและอนุพันธ์ของเซลลูโลส (เมททิลเซลลูโลส,MC และไฮดรอกซีโปรพิวเมททิลเซลลูโลส,HPMC) มีค่าการต้านแรงดึงสูงสุด 3.05 kN/m สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม MC และ 2.79 kN/m สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC เมื่อมีปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 10 ฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและ HPMC มีความยืดหยุ่นมากกว่าฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและ MC ,

เมื่อคัดเลือกฟิล์มทั้งสามชนิดได้แก่ ฟิล์มไคโตแซนร้อยละ 1 ฟิล์มไคโตแซนผสม MC ร้อยละ 20 และฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC ร้อยละ 20 มาปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมพลาสติไซเซอร์พบว่า ฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลมีค่าการต้านแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล แต่กลีเซอรอลทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและมีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าซอร์บิทอล และได้คัดเลือกชุดทดลองที่ใช้กลีเซอรอลในระดับความเข้มข้นร้อยละ 60 ของปริมาณโพลีเมอร์เพื่อการศึกษาต่อไป ส่วนการเติมกรดลอริกและกรดสเตียริกมีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเพียงเล็กน้อย โดยการเติมกรดลอริกช่วยให้ฟิล์มมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีกว่าการเติมกรดสเตียริก แต่อย่างไรก็ตามฟิล์มที่เติมกรดไขมันทั้ง

สองชนิดผสมกัน มีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่เติมกรดลอริกเพียงชนิดเดียว จึงคัดเลือกชุดทดลองที่ใช้กรดไขมันผสมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 45 ของปริมาณโพลีเมอร์เพื่อการศึกษาต่อไป

การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลกับฟิล์มสังเคราะห์พีวีซีพบว่า ฟิล์มจากไคโตแซนที่ผลิตได้มีค่าการต้านแรงดึงและค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่า แต่ค่าการยืดตัวเมื่อขาดต่ำกว่าฟิล์มพีวีซี ความสามารถในการถูกย่อยสลายของฟิล์มแต่ละชนิดต่างกัน ฟิล์มไคโตแซนผสมอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่เติมกรดไขมันผสม สามารถถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มไคโตแซนที่เติมกรดไขมันผสม และเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน ฟิล์มทั้ง 3 ชนิดสูญเสียน้ำหนักไปประมาณร้อยละ 90 ในขณะที่ฟิล์มพีวีซีสูญเสียน้ำหนักไปเพียงประมาณร้อยละ 17 ส่วนฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลสามารถถูกย่อยสลายได้เกือบสมบูรณ์ เมื่อฝังดินเป็นเวลา 35 วัน

การทดลองเคลือบชิ้นปลาเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาด้วยสารละลายไคโตแซน และสารละลายไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลส พบว่าคุณภาพทางเคมีของชิ้นปลามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตลอดระยะเวลาเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วันที่อุณหภูมิ - 18 °ซ ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสหลังจากวันที่ 50 ชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) มีสีเข้มกว่าชุดที่มีการเคลือบ แต่คุณลักษณะอื่นๆมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

Thesis Title	Biodegradable Film from Chitosan : Influence of Processing Variables on Properties of Film and Application
Author	Miss Nopparat Mahae
Major Program	Fishery Products Technology
Academic Year	1997

Abstract

The influence of processing variables on the properties of chitosan and composite films were studied. For chitosan film, as chitosan concentration increased, the thickness, surface density and tensile strength were increased. The water vapor permeability (WVP) increased with an increasing of chitosan concentration up to 1 %, beyond that there was little change in WVP ($p > 0.05$). Composite films between cellulose derivatives (methyl cellulose,MC and hydroxypropyl methylcellulose, HPMC) and chitosan showed the maximum tensile strength of 3.05 kN/m. for MC - composite film and 2.79 kN/m. for HPMC - composite film at 10 % cellulose derrivative. HPMC composite film showed more flexibility than MC composite film.

Three different films were selected i.e.1 % chitosan film, 20 % MC - composite film and 20 % HPMC - composite film for improving the properties by adding plasticizer and fatty acid. The results showed that glycerol plasticized film exhibited higher extention at break and WVP, lower tensile strength than sorbitol plasticized film. Then addition of glycerol at 60 % concentration was selected for further study. Addition of lauric acid showed better water barrier property than stearic acid. However, film added the mixture of these fatty acids exhibited higher water barrier property than stearic acid alone. So mixed fatty acid with the concentration

of 45 % was selected for further study.

Comparison between the produced film, chitosan and composite films with synthetic film, PVC showed that the produced film had higher tensile strength and water vapor permeability and lower extention at break than PVC film. Biodegradability of different films were different. The biodegradability of composite film added fatty acid was faster than chitosan film added fatty acid. After burying in soil for 35 days , weigth loss of the produced films were about 90 % , while weight loss of PVC film was only about 17 % . Glycerol plasticized film could be degraded completly when exposed to soil for 35 days (except chitosan film).

The application of chitosan and composite film as glazing on frozen fish fillet was investigated. After 60 days of frozen storage at - 18°C, there were little changes in chemical qualities of fish fillet. Also, there were very little and no significant changes in sensory evaluation, except color. After 50 days of frozen storage, uncoated sample appeared darker color than coated sample.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณดร ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์ศิริวรรณ ตีรณเสถียรพันธ์ กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้าวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ วรพงษ์ อัศวเกศมณี กรรมการผู้แทนคณะอุตสาหกรรมเกษตร รองศาสตราจารย์ ดร. วัลลี สุวจิตตานนท์ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ดร.อศิรา เฟื่องฟูชาติ งานบริการเทคนิค ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์คุณสมบัติไคโตแซน อาจารย์สุรสิทธิ์ ประสารปราณ และคุณสมศักดิ์ สุดจันทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย และนักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทดสอบชิม

และผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ด้วยความเคารพยิ่งที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและกำลังใจในการศึกษาครั้งนี้

นพรัตน์ มะเห

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการตารางภาคผนวก	(11)
รายการรูป	(12)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	35
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	36
3. ผลและวิจารณ์	47
4. สรุป	85
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก	100
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	100
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	107
ประวัติผู้เขียน	119

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ปริมาณของไคติน (น้ำหนักแห้ง) จากแหล่งต่างๆ	4
2. การใช้ประโยชน์จากไคติน และไคโตแซน	11
3. ค่าการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มผสมเพคตินและแป้ง	14
4. คุณสมบัติบางประการของฟิล์มจากโปรตีน	16
5. ผลของชนิดของไขมันต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มเวย์โปรตีนผสมไขมัน	18
6. การใช้ประโยชน์ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	20
7. ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มชนิดต่างๆ	22
8. ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจากเวย์โปรตีนที่ 25 องศาเซลเซียส	24
9. ผลของกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติของฟิล์มเพคตินและแป้ง (90 : 10)	25
10. คุณสมบัติของฟิล์มโปรตีนจากข้าวโพดเมื่อเติมสารต่างๆ เปรียบเทียบกับฟิล์มโพลีไวนิลลิดีน คลอไรด์	29
11. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไคโตแซน	49
12. ผลของปริมาณไคโตแซนต่อคุณสมบัติของฟิล์ม	51
13. ผลของปริมาณอนุพันธ์เซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนผสมเมทิลเซลลูโลส	54
14. ผลของปริมาณอนุพันธ์เซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนผสมไฮดรอกซีโปรพิวเมทิลเซลลูโลส	55
15. ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม	60
16. ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม	61
17. ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม	62
18. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆต่อคุณสมบัติของฟิล์ม	68
19. คุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากการทดลองและฟิล์มพีวีซี	71
20. การย่อยสลายของฟิล์มด้วยเอนไซม์เซลลูเลส	73

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
21. คะแนนผลการทดลองทางประสาทสัมผัสของ สี กลิ่นหืน ความฉ่ำ ความเหนียว และการยอมรับรวม ของชิ้นปลา เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 °ซ เป็นเวลา 60 วัน	83

รายการตารางภาคผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
ข1. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซน	107
ข2. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซน ผสมเมทิลเซลลูโลส	108
ข3. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซน ผสมไฮดรอกซีโปรพิวเมทิลเซลลูโลส	109
ข4. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์	110
ข5. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์	111
ข6. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์	112
ข7. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน	113
ข8. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน	114
ข9. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน	115
ข10. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าการซึมผ่านไอน้ำของ ฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน	116
ข11. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าการต้านแรงดึงของ ฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน	117
ข12. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าการยืดตัวเมื่อขาดของ ฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน	118

รายการรูป

รูปที่	หน้า
1. โครงสร้างทางเคมีของ เซลลูโลส ไคติน และไคโตแซน	5
2. กรรมวิธีในการผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ	7
3. สูตรโครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรีน	24
4. สูตรโครงสร้างทางเคมีของซอร์บิทอล	25
5. ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจาก MC และ HPC	27
6. ภาพร่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการย่อยสลายของฟิล์มโดยการฝังดิน	43
7. ไมโครมิเตอร์ (Dial micrometer) สำหรับวัดความหนาของฟิล์ม	44
8. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (Universal testing machine)	44
9. ไคติน ไคโตแซน และสารละลายไคโตแซน	49
10. สูตรโครงสร้างทางเคมีของ MC และ HPMC	53
11. ฟิล์มจากไคโตแซน (CHI) ฟิล์มจากไคโตแซนผสมเมททิลเซลลูโลส (MC) และฟิล์มจากไคโตแซนผสมไฮดรอกซี่โปรพิวเมททิลเซลลูโลส (HPMC)	57
12. ผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซน	65
13. ผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนผสม MC	66
14. ผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC	67
15. อัตราส่วนน้ำหนักของแผ่นฟิล์มระหว่างการย่อยสลายโดยการฝังดิน	75
16. การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ	77
17. ความชื้นของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ	77
18. ค่าพีเอชของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ	79
19. ค่า TVB ของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ	79
20. ค่า TBA ของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ	80

ตัวย่อและสัญลักษณ์

AMGs	=	acetylated monoglyceride
ATP	=	adenosine triphosphate
CH	=	chitosan
CMC	=	carboxymethly cellulose
CRD	=	completely randomized design
DEHA	=	di - 2 - ethylhexyl adipate
FD	=	flash dry
GTR	=	gas transmission rate
g / cm^3	=	gram / cubicmeter
$(g.mil) / (m^2.day.mmHg)$	=	(gram.mil) / (squaremeter.day.millimeter mercury)
$(g.mm.) / (kPa.h.m^2)$	=	(gram.millmeter) / (kiloPascal.hour.squaremeter)
g / msPa	=	gram / meter second Pascal
g / mol	=	gram / mole
HDPE	=	high density polyethylene
HPC	=	hydroxypropyl cellulose
HPMC	=	hydroxypropyl methyl cellulose
kgf / cm^2	=	kilogram force / squarecentimeter
kN / m	=	kiloNewton / meter
kN / m^2	=	kiloNewton / squaremeter
LDPE	=	low density polyethylene
LSD	=	least significant difference
MC	=	methyl cellulose
mm.	=	millimeter
MPa	=	megaPascal

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

Pa	=	Pascal
PCL	=	polycaprolactone
PE	=	polyethylene
PEG	=	polyethylene glycol
PHB	=	poly - β - hydroxybutyrate
PHV	=	polyhydroxyvalarate
PG	=	polyglycolide
PL	=	polylactide
QDA	=	quantitative descriptive analysis
SD	=	spray dry
TBA	=	thiobarbituric acid
TVB	=	total volatile bases
Tg	=	glass transition temperature
WVP	=	water vapor permeability
WVTR	=	water vapor transmission rate
α	=	alpha -
β	=	beta -
γ	=	gamma -

ตรวจเอกสาร

1. ไคติน - ไคโตแซน

ไคตินเป็นโพลิเมอร์ของโมโนแซคคาไรด์ พวกไนโตรเจน - อเซทิลกลูโคซามีน (N - acetylglucosamine) และบางส่วนจะเป็นกลูโคซามีน (glucosamine) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก ชนิดเบต้า 1,4 (β 1,4 glucosidic bond) ไคตินไม่มีพิษ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยโครงสร้างจะมีลักษณะคล้ายเซลลูโลส ต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในไคตินจะเป็นหมู่อะซีตาไมด์ (acetamide group) แต่ในเซลลูโลสเป็นหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH group) (Simpson, *et al.*, 1994) ไคตินพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยเฉพาะในสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง แมลง รา และยีสต์

ไคตินสามารถพบได้ 3 รูปแบบ โดยแตกต่างกันที่การจัดเรียงตัวของสายโมเลกุล ชนิดแรกคือ แอลฟา - ไคติน (α - chitin) เป็นไคตินที่มีความแข็งแรง การเรียงตัวของสายโมเลกุลจะมีลักษณะสวนทางกัน (anti - parallel) พบมากที่สุดในคิวติเคิลของแมลง รา และสัตว์พวก กุ้ง ปู ไคตินชนิดที่สองคือ เบต้า - ไคติน (β - chitin) สายโมเลกุลจะเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน (parallel) พบในพวกมอลลัสกาคือ หอยและปลาหมึก ชนิดที่สามคือ แกมม่า - ไคติน (γ - chitin) เป็นไคตินที่มีการเรียงตัวของสายโมเลกุล 2 แบบแรกผสมกัน พบในปลอกหุ้มไข่ของด้วงปีกแข็งชนิด *Ptinus tectus* และ *Rhychaenus fagi* ในปลาหมึกกล้วยพบไคตินที่มีรูปแบบต่างกันตามส่วนต่างๆ เช่น ส่วนของจะงอยปากซึ่งมีลักษณะแข็งแรงจะพบแอลฟา - ไคติน ส่วนของกระดองจะพบเบต้า - ไคติน ส่วนเยื่อบุกระเพาะจะพบแกรมม่า - ไคติน แสดงว่าไคตินทั้งสามรูปแบบจะมีความสัมพันธ์กันกับการทำหน้าที่ของอวัยวะที่พบไคตินชนิดนั้นๆ (Muzzarelli, 1977)

ปริมาณของไคตินจากแหล่งต่างๆ (ตารางที่ 1) ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์คือ เปลือกของกุ้งและปูเนื่องจากมีปริมาณไคตินอยู่สูง และสามารถหาได้ง่ายเพราะในปัจจุบันโรงงานแปรรูปอาหารทะเลมีอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเปลือกของกุ้งและปู แม้ว่าเปลือกของปูจะมีปริมาณของไคตินสูงกว่าเปลือกกุ้ง แต่การแปรรูปกุ้งในประเทศไทยมีอยู่มากกว่า ดังนั้นการผลิตไคตินหรือไคโตแซนจากเปลือกกุ้งจึงสามารถหาวัตถุดิบในการผลิตได้ง่ายกว่า ส่วนกระดองปลาหมึกพบไคตินอยู่สูง (ร้อยละ 40) และถ้าต้องการผลิตไคตินหรือไคโตแซนจากกระดองปลาหมึกอาจลดขั้นตอนในการ

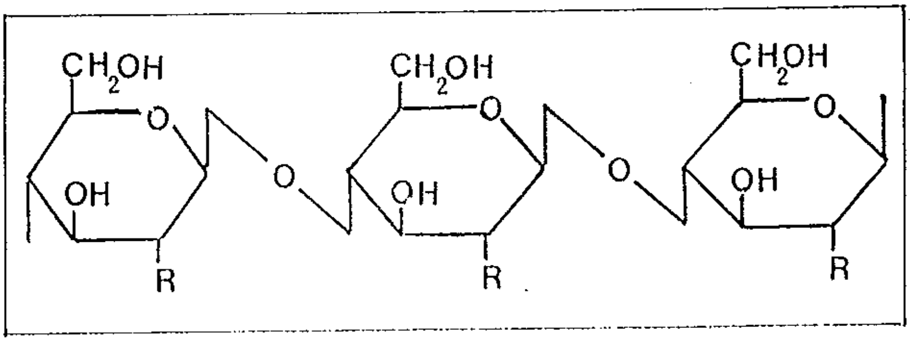
กำจัดแร่ธาตุลงได้ เนื่องจากมีปริมาณแร่ธาตุอยู่น้อย (Sornprasit, 1997) แต่อาจจะมีปัญหาในเรื่องของการหาวัตถุดิบ

ตารางที่ 1 ปริมาณของไคติน (น้ำหนักแห้ง) จากแหล่งต่างๆ

Origin of waste	Chitin (%)	
Clams/Oyster[1]	3 - 6	
Fungi[1]	10 - 25	
Insect[1]	0 - 8	
Krill[1]	3 - 7	24 % in non - tail
Shell fish[1]	14 - 35	25 % average
Shrimp[1]	17	
Crab[2]		
Backs	18.7	
Claws	23.7	
Legs	32.2	
Shoulders	26.9	
Tips	27.9	
Squid[1]	1 - 2	40 % in backbone

ที่มา : [1]Ockerman (1992)
[2]Shahidi และคณะ (1992)

ไคโตแซนเป็นพวกโพลีอะมิโนแซคคาไรด์ (polyaminosaccharide) ซึ่งได้จากไคติน ที่ผ่านกระบวนการเอาหมู่อะซิติลออก (deacetylation) มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหน่วยย่อย ของ D-glucosamine เป็นชีวโมเลกุล ที่มีสีขาว ไม่มีกลิ่น และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Singh and Ray, 1994 ; Qurashi, *et al.*, 1992) ไคโตแซนมีความเป็นพิษต่ำ ค่า LD_{50} ของไคโตแซนจากการทดลองด้วยหนูในห้องปฏิบัติการ มีค่าเท่ากับ 16 กรัม / กิโลกรัม ของน้ำหนักร่างกาย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเกลือและน้ำตาล (Kroschwitz, 1990) โครงสร้างทางเคมีของ เซลลูโลส ไคติน และไคโตแซน แสดงดังรูปที่ 1



เซลลูโลส R = OH

ไคติน R = $NHCOCH_3$

ไคโตแซน R = NH_2

รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของ เซลลูโลส ไคติน และไคโตแซน

ที่มา : McGahren และคณะ (1984)

2. การผลิตไคติน - ไคโตแซน

การผลิตไคตินและไคโตแซนในทางอุตสาหกรรม เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีหลายลักษณะ ได้แก่ ลักษณะเป็น ผง เกล็ด เส้นใย เม็ดกลม และเป็นแผ่น และมีคุณภาพหลายระดับขึ้นกับวิธีการในการผลิต กรรมวิธีการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเดิมไปเพียงเล็กน้อย ประกอบด้วยขั้นตอนในการผลิตไม่มาก

การผลิตไคตินและไคโตแซนสามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีทางชีวภาพและวิธีทางเคมี โดยวิธีทางชีวภาพอาจใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ในการผลิต ส่วนทางเคมีการผลิตไคโตแซนประกอบด้วยขั้นตอนการกำจัดโปรตีน การกำจัดแร่ธาตุ และอาจมีการกำจัดสี ผลผลิตที่ได้คือไคติน จากไคตินผ่านกระบวนการกำจัดหมู่อะซิติลก็จะได้ไคโตแซน การกำจัดโปรตีนด้วยด่างเจือจาง การกำจัดเกลือแร่ด้วยกรดเจือจาง การกำจัดสีอาจใช้อะซิโตน และ/หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การกำจัดหมู่อะซิติลด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น และมีความร้อนร่วม (Simpson, *et. al.*,1994) ปัจจุบันการผลิตไคตินและไคโตแซน ส่วนใหญ่ได้จากเปลือกกุ้ง ปู หรือกั้ง โดยใช้วิธีการทางเคมี กรรมวิธีที่เหมาะสมในการสกัดไคโตแซนจากเปลือกกุ้งอาจแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบ Benjakul และ Sophanodora (1993) ได้ศึกษาการผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) โดยใช้ทั้งเปลือกส่วนหัว (carapace) และเปลือกส่วนตัว (shell) พบว่ากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตแสดงดังรูปที่ 2 การผลิตไคโตแซนจากวัสดุเศษเหลือจากกุ้ง (ส่วนที่เหลือหลังเอาเนื้อออก) ได้ผลผลิตไคตินร้อยละ 3.7 (กรัม/กรัมของวัสดุเศษเหลือ) และผลผลิตไคโตแซนร้อยละ 65 (กรัม/กรัมไคติน) (อุดมชัย จินะดิษฐ์ ,2535) นอกจากนี้ สุทธวัฒน์ เบญจกุล และ ไพรัตน์ โสภโณดร (2533) ได้สกัดไคโตแซนจากเปลือกกุ้งแชบ๊วยได้ผลผลิตไคโตแซนร้อยละ 21.04 (นน./นน.เปลือกกุ้งอบแห้ง)

เปลือกกุ้งสด

↓

ล้างด้วยน้ำให้สะอาด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

↓

บดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดเล็กลง

↓

กำจัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์
อุณหภูมิ 100°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนเปลือกกุ้ง : สารละลาย
เท่ากับ 1 : 6 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

↓

ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง

↓

กำจัดแร่ธาตุด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.25 โมลาร์ สำหรับเปลือกส่วนหัว
และ 0.75 โมลาร์ สำหรับเปลือกส่วนตัว ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
อัตราส่วนเปลือกกุ้ง : สารละลายเท่ากับ 1 : 12 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

↓

ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ
เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

↓

ไคติน

↓

กำจัดหมู่อะซิติลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น
ร้อยละ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 30 นาที
อัตราส่วนเปลือกกุ้ง : สารละลายเท่ากับ 1 : 15 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

↓

ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ
เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

↓

ไคโตแซน

รูปที่ 2 กรรมวิธีในการผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ
ที่มา : ดัดแปลงจาก Benjakul และ Sophanodora (1993)

3. คุณสมบัติของไคติน - ไคโตแซน

3.1 การละลาย (Solubility)

ไคตินไม่สามารถละลายได้ในสารละลายโดยทั่วไป แต่สามารถละลายได้ในกรดแก่ ฟลูออโรอัลกอฮอล์ (fluoroalcohols) และสารละลายของเกลือไฮโดรโทรปิก (hydrotropic salt solution) ซึ่งจะทำลายโครงสร้างของไคตินและไม่สะดวกในการใช้ สาร

ละลายที่ไม่ทำลายไคตินประกอบด้วย ไดเมททิลอซีตาไมด์ (dimetylacetamide) ซึ่งมีลิเทียมคลอไรด์ (lithium chloride) ร้อยละ 5 (Austin, *et al.*, 1981) ไคตินที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น แอททิลีนไกลคอลไคติน และคาร์บอกซีเมททิลไคติน (Tokura, *et al.*, 1983)

ไคโตแซนมีโครงสร้างที่เป็นผลึกอยู่มาก จึงไม่สามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ทั่วไป กรด และด่าง แต่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ในช่วงพีเอชที่ต่ำกว่า 6 เช่น กรดฟอร์มิก อะซิติก โปรพิโอนิก ออกซาลิก มาโลนิก ซัคซินิก อะดิปิก แลคติก ไพรูวิก มาลิก ทาร์ทาริก และซิติก การที่ไคโตแซนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ประมาณ 1×10^7 g/mol.) จึงสามารถเกิดสารละลายที่ข้นหนืดได้ เมื่อละลายในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน (Qurashi,*et al.*, 1992)

3.2 คุณสมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส (interphasic properties)

คุณสมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส เช่น ความสามารถในการจับกับไขมัน (fat binding capacity) และความสามารถในการเกิดอีมัลชั่น (emulsion capacity) จากการศึกษาความสามารถในการจับกับไขมัน และความสามารถในการเกิดอีมัลชั่นของไคติน ผลึกไคตินขนาดเล็ก (microcrystalline chitin : ได้จากการย่อยไคตินด้วยกรดฟอสฟอริกใน 2-โปรพานอล) และไคโตแซน เปรียบเทียบกับผลึกเซลลูโลสขนาดเล็ก (microcrystalline cellulose) พบว่าความสามารถในการจับกับไขมันของไคตินจะมีค่าสูงสุดและไคโตแซนมีค่าต่ำสุด (ไคติน > ผลึกไคตินขนาดเล็ก > ไคโตแซน) ส่วนความสามารถในการเกิดอีมัลชั่น พบว่า ผลึกไคตินขนาดเล็กสามารถแสดงคุณสมบัติในการเกิดอีมัลชั่นที่ดีที่สุด ส่วนไคตินและไคโตแซนไม่สามารถเกิดอีมัลชั่น (Knorr, 1982) นอกจากนั้นอนุพันธ์ของไคตินคือ คาร์บอกซีเมททิลไคติน สามารถนำมาใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ (ชิดชม ฮิรางะ และคณะ, 2537)

3.3 คุณสมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุล (intermolecular properties)

คุณสมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุล เช่น การเกิดฟิล์ม เป็นคุณสมบัติที่เกิดจากการเกิดพันธะหรือการสานตัวกันระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาค ไคโตแซนเมื่อนำมาละลายในกรดเจือจาง เช่น กรดอะซิติก จะได้สารละลายข้นหนืดซึ่งสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มหรือเมมเบรนได้ คุณสมบัติของเมมเบรนจากไคโตแซนที่เตรียมโดยละลายไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 2 ในกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1 พบว่าเมมเบรนที่ได้มีค่าการต้านแรงดึงและการยืดตัวลดลง เมื่อเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลด้วยด่างเพิ่มขึ้น เมมเบรน

จากไคโตแซนมีความแข็งแรงกว่าเมมเบรนจากไคโตแซนที่ผสมโพลิเมอร์ตัวอื่น คือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Blair, *et al.*,1987) การฟอร์มตัวของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตแซนและโฮโมจีไนซ์เซลลูโลส เริ่มจากการเกิดชิฟฟ์เบส (schiff base) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมไข้วระหว่างหมู่คาร์บอนิลของเซลลูโลส และหมู่อะมิโนของไคโตแซน (Hosokawa, *et al.*, 1991)

3.4 คุณสมบัติด้านประสาทสัมผัส (sensory properties)

การสลายตัวของไคตินด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 900°ซ เกิดเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นรส จำนวนมาก (Knorr, 1984) สารประกอบที่ได้จากการสลายตัวด้วยความร้อนสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มคือ

3.4.1 สารประกอบพวกด่างได้แก่ ไพริดีน (pyridine) พิโคลีน (picolines) ควิโนลีน (quinoline) และ ไพราซีน (pyrazine) (ซึ่งจะให้กลิ่นรสของอาหารปิ้งหรือย่าง)

3.4.2 สารประกอบพวกฟีนอล ได้แก่ ฟีนอล (phenol) ครีซอล (cresol) ไซลีนอล (xylenol) และ เอทิลฟีนอล (ethylphenol) เป็นต้น

3.4.3 สารประกอบพวกกรด ได้แก่ ฟอร์มิก (formic) อะซิติก (acetic) โพรพิโอนิก (propionic) ไอโซบิวทีริก (isobutyric) และบิวทีริก เป็นต้น

3.4.4 สารประกอบพวกที่เป็นกลาง ได้แก่ โทลูอีน (toluene) ไซลีน (xylene) และเนพทาลีน (naphthalene) เป็นต้น

3.5 คุณสมบัติด้านอื่นๆ

3.5.1 การเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต (biocompatible)

ไคโตแซนสามารถเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต และมีพิษต่ำในร่างกายสัตว์

3.5.2 การลดระดับของคอเลสเตอรอล (hypocholesterolaemic action)

ความสามารถของไคโตแซนในการลดระดับของคอเลสเตอรอล ได้มีการศึกษาในหนู คน (ผู้ใหญ่) ไก่ และกระต่าย พบว่าไคโตแซนสามารถละลายหรือพองตัวในของเหลวที่เป็นกรดในกระเพาะอาหาร แล้วเกิดเป็นไมเซลกับคอเลสเตอรอลในของเหลวที่เป็นด่างบริเวณตอนต้นของลำไส้ นอกจากนั้นไคโตแซนสามารถจับกับน้ำดี ผลทำให้เกิดการยับยั้งการดูดซึมคอเลสเตอรอล ไมเซลสามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ ไคติเนส และ ไคโตแซนเนส ที่สร้างจากสิ่งมีชีวิตในลำไส้ใหญ่ ทำให้คอเลสเตอรอลถูกขับออกมาในรูปอิสระ

ทางอวัยวะขับถ่ายโดยไม่มีการดูดซึม ส่วนไคโตแซนซึ่งจับกับน้ำดีสามารถขับออกทางอวัยวะขับถ่ายเช่นกัน (Maezaki, *et al.*, 1993 ; Hirano and Akiyama, 1995)

4. การใช้ประโยชน์จากไคติน - ไคโตแซน

แม้ว่าไคตินซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลสและมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส แต่การใช้ประโยชน์จากไคตินยังมีไม่มากนัก เนื่องจากปัญหาในเรื่องของตัวทำละลายไคติน ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนรูปของไคตินไปเป็นอนุพันธ์ของไคตินในรูปต่างๆกัน เช่น ไคโตแซน ซึ่งเป็นอนุพันธ์หนึ่งของไคตินที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน สามารถใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ด้านการเกษตร และด้านอื่นๆ

การใช้ประโยชน์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของไคโตแซนคือ การใช้เป็นตัวตกตะกอนในอุตสาหกรรมต่างๆ และใช้เป็นตัวจับโลหะหนักเนื่องจากคุณสมบัติของไคโตแซนที่มีประจุบวก ไคโตแซนสามารถทำปฏิกิริยากับอัลดีไฮด์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมแล้วเกิดเป็นเจล ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการตรึงเซลล์และเอนไซม์ ในอุตสาหกรรมอาหารไคโตแซนใช้เป็นตัวปรับปรุงคุณภาพอาหาร เช่น มีการผลิตคุกกี้และก๋วยเตี๋ยวเสริมเส้นใยอาหารจากไคโตแซน เนื่องจากไคโตแซนมีความสามารถในการลดคอเลสเตอรอลได้ ไคโตแซนเป็นตัวที่ให้ความชุ่มชื้นได้ดี เนื่องจากมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง จึงมีการผลิตเครื่องสำอางสำหรับผมและผิวจากไคโตแซน ทางการเกษตรมีการใช้ไคโตแซนเคลือบเมล็ดพันธุ์ เพื่อเพิ่มผลผลิต เนื่องจากไคโตแซนสามารถป้องกันเชื้อราและศัตรูพืชได้ (Simpson, *et al.*, 1994) การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน

Industry	Application
Food	Biomass recovery as in cheese process
	Sludge treatment as in brewing
	Packaging film or edible food wrap
	Flavor production
	Food thickener and/or stabilizer
Pharmaceuticals	Diluent for drug and other tablet manufacture
Biomedicals	Bile salt sequesterant, anticoagulant, vascular grafts, aggregation of cell and artificial kidney membrane
Cosmetics	Hair conditioner, hair setting lotions and dry shampoos
Water purification	Removal of color, heavy metal, radioactivity metal and environmental contamination like PCBs.
Plant protection	Defence against pathogens
	Inhibit fungi growth
	Suppress plant parasite
Animal nutrition	Feed supplement, dietary fiber, digestive aid
	Promote the growth of bifidobacteria
Paper and pulp	Paper making additive for surface strength improvement
Chemical industry	Oil refinery waste water decontamination
	Enzyme/cell immobilization
	Molecular sieves, reverse osmosis, adhesive, flame retardant and chromatography

ที่มา : Simpson และคณะ (1994)

5. **ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ**

โพลีเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถจำแนกได้ 4 พวกคือ 1) โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ 2) โพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์และสามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ เช่น พีเอชบี (PHB, poly-β-hydroxybutyrate) พีเอชบี/พีเอชวี (PHB/PHV, polyhydroxyvalarate) และโพลีแซคคาไรด์พวก พูลลูแรน (pullulan) 3) โพลีเมอร์ที่ได้จากการดัดแปลงโพลีเมอร์จากการสังเคราะห์ เช่น พีเอล (PL, polylactide) พีจี (PG, polyglycolide) และพีซีเอล (PCL, polycaprolactone) และ 4) โพลีเมอร์ผสมของโพลีเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Kang, *et al.*,1996)

โพลีเมอร์จากธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ไขมัน และอนุพันธ์ของโพลีเมอร์เหล่านี้ การใช้ประโยชน์ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ เป็นตัวป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและสารต่างๆ เป็นตัวเชื่อมหรือตัวยึดติด เช่น เป็นตัวยึดสารปรุงรสต่างให้ติดกับผลิตภัณฑ์ และทำหน้าที่เป็นตัวเคลือบผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ดี คุณสมบัติต่างๆของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะขึ้นอยู่กับชนิดของโพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตฟิล์ม

กลไกการเกิดฟิล์มแต่ละชนิดสามารถเกิดได้หลายวิธีดังนี้ (Kester and Fennema, 1986)

- การจับกันเป็นก้อนแบบง่าย (simple coacervation) เกิดเมื่อไฮโดรคลอลอยด์เดี่ยวๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะ เนื่องจากการระเหยของตัวทำละลาย การเติมสารที่ไม่ใช่อิเล็กโตรไลต์ ซึ่งไฮโดรคลอลอยด์ไม่สามารถละลายได้ (เช่น แอลกอฮอล์) การเติมสารอิเล็กโตรไลต์เพื่อทำให้เกิด salting out หรือการเชื่อมไข้ว หรือการเปลี่ยนแปลงพีเอช
- การจับกันเป็นก้อนแบบซับซ้อน (complex coacervation) เกิดเมื่อสารละลาย 2 ชนิดที่มีประจุตรงข้ามกัน เกิดการรวมตัวกันทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อกัน และเกิดการตกตะกอนของกลุ่มโพลีเมอร์
- การเกิดเจลด้วยความร้อนหรือการตกตะกอน (thermal gelation or precipitation) จะรวมถึงการให้ความร้อนโปรตีน เพื่อทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีน ตามด้วยการเกิดเจลหรือการตกตะกอน หรือการให้ความเย็นสารแขวนลอย พวกไฮโดรคอลลอยด์เพื่อทำให้เกิดเจล

5.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide film)

โพลีแซคคาไรด์ หรืออนุพันธ์ของโพลีแซคคาไรด์ ที่สามารถใช้ในการผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีหลายชนิด เช่น อัลจีเนต เพคติน คาราจีแนน แป้งและอนุพันธ์ของแป้ง และอนุพันธ์ของเซลลูโลส เนื่องจากโพลีแซคคาไรด์มีคุณสมบัติชอบน้ำ ฟิล์มจากโพลีแซคคาไรด์จึงสามารถกั้นการซึมผ่านของน้ำได้น้อย แต่ฟิลม์ชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ น้ำมัน ไขมัน และสารให้กลิ่นรส ได้ดีในที่มีความชื้นต่ำ (Kester and Fennema, 1986; Krochta and De Mulder - Johnson, 1997)

5.1.1 เซลลูโลส

อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซี่เมททิลเซลลูโลส(CMC) เมททิลเซลลูโลส (MC) ไฮดรอกซี่โพรพิลเมททิลเซลลูโลส (HPMC) และไฮดรอกซี่โพรพิลเซลลูโลส (HPC) สามารถนำมาใช้ผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้ ฟิล์มจากโพลีเมอร์เหล่านี้มีคุณสมบัติคือมีความแข็งแรงปานกลาง ทนทานต่อน้ำมันและไขมันยืดหยุ่นได้ มีความใส ไม่มีกลิ่นรส ละลายน้ำได้ และกั้นการซึมผ่านของไอน้ำได้ปานกลาง (Krochta and DeMulder - Johnson,1997)

คุณสมบัติในการเป็นตัวกั้น เช่น การยอมให้ก๊าซและไอน้ำซึมผ่าน และคุณสมบัติเชิงกล เช่น การต้านแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มจากเซลลูโลสมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟิล์ม ตัวอย่างเช่น จากการศึกษาการซึมผ่านและคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่บริโภคได้จากเซลลูโลส 2 ชนิดคือ เมททิลเซลลูโลส และไฮดรอกซี่โพรพิลเซลลูโลส พบว่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน การซึมผ่านของไอน้ำ และการต้านแรงดึงของฟิล์ม มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มทั้งสองชนิดลดลงและการยืดตัวเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม ซึ่งใช้โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol : PG) เป็นพลาสติไซเซอร์ เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ PG เพิ่มขึ้น (Park, *et al.*, 1993)

5.1.2 แป้ง

แป้งที่มีอะมัยโลสสามารถนำมาใช้ผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ปานกลาง ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ

ได้ไม่ดีและความแข็งแรงด้อยกว่าฟิล์มจากการสังเคราะห์ (Krochta and De Mulder - Johnson, 1997)

จากการศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลังโดย เกศศินี ตระกูลทิวากร และคณะ (2539) พบว่า ฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้ามีความขุ่มตามลักษณะของน้ำแป้งข้าวเจ้าสุก ส่วนฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังมีสีขาวใส เหมือนแผ่นพลาสติก และมีความยืดหยุ่นดีกว่าฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้า สำหรับคุณสมบัติในการนำไปใช้พบว่า ฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าใช้ห่อพันผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังพบลักษณะแปะติดได้ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่สามารถนำมาดัดแปลงเป็นภาชนะบรรจุ เช่น ถุงและวัสดุใช้ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหารบางอย่างได้

ฟิล์มที่ผลิตจากเพคตินที่มีเมททอกซี่สูงและแป้งที่มีอะมัยโลสสูง มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี และเหมาะในการนำมาใช้ในเชิงการค้า สำหรับกรณีที่ต้องการฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ในการผลิตฟิล์มเพื่อห่อหุ้มอาหารสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน จากการศึกษาฟิล์มที่ผลิตจากเพคตินและแป้ง ผลปรากฏว่าค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.2 -3.7 มล./ม^2/วัน ซึ่งต่ำกว่า polyethylene terephthalate ที่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 40 - 50 มล./ม^2/วัน และต่ำกว่า polyethylene ที่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 1,500 - 10,000 มล./ม^2/วัน โดยเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นค่าการซึมผ่านของออกซิเจนจะลดลง และเมื่อใช้พลาสติไซเซอร์คือกลีเซอรีนเพิ่มขึ้นการซึมผ่านของออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้น (Coffin and Fishman, 1994) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มผสมเพคตินและแป้ง

pectin/starch ratio	% glycerine	O_2 permeability (ml/m^2/day)
100 : 0	30	1.7
80 : 20	30	1.2
100 : 0	50	3.7
80 : 20	50	2.2

ที่มา : Coffin และ Fishman (1994)

5.1.3 ฟิล์มจากอัลจีเนต

อัลจีเนต ซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นกรด (acid polysaccharide) ประกอบด้วยโพลีเมอร์เส้นตรงของ 1,4 - β - D - mannuronic และ ∝ - L - guluronic acid สามารถทำให้เกิดฟิล์มที่คงตัวโดยการเชื่อมไขว้กับแคลเซียมอิออน ภายใต้สภาวะที่ควบคุม กลไกในการเกิดเจลเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง บล๊อกของแคลเซียมอิออน และโพลีกูลูโรเนต (polyguluronate) ทำให้เกิดโครงร่างที่มีการเชื่อมไขว้กัน 3 มิติ (Wong, *et al.*, 1996)

การใช้เจลอัลจีเนตเคลือบอาหาร มีการใช้กับผลิตภัณฑ์พวก เนื้อวัว เนื้อหมู เป็ด-ไก่ และเนื้อแกะ โดยอัลจีเนตที่เคลือบผลิตภัณฑ์สามารถลดการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความชื้นภายในของเจลอัลจีเนตที่เคลือบมีความชื้นสูง เกิดการสูญเสียไปก่อนที่อาหารที่ห่อหุ้มจะสูญเสียความชื้น นอกจากนี้การเคลือบด้วยอัลจีเนตยังสามารถช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นขององค์ประกอบอาหาร (Kester and Fennema, 1986)

5.2 ฟิล์มโปรตีน (protein film)

ฟิล์มโปรตีนสามารถผลิตได้จากโปรตีนหลายชนิด เช่น คอลลาเจน เจลลาติน เคซีน เวย์โปรตีน โปรตีนในข้าวโพด โปรตีนในข้าวสาลี และโปรตีนถั่วเหลือง ฟิล์มโปรตีนจะให้คุณสมบัติในการเป็นตัวกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ไม่ดี เนื่องจากคุณสมบัติในการชอบน้ำของโปรตีน แต่ฟิล์มโปรตีนมีการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำ (Gennadios, *et al.*, 1993 a) การใช้ประโยชน์ฟิล์มโปรตีน อาจใช้ในการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสหรือสีที่เติมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ หรือห่อหุ้มเมล็ดถั่ว (Gennadios and Weller, 1990) ฟิล์มจากโปรตีนมีคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านที่ดีกว่าฟิล์มจากโพลีแซคคาไรด์ เนื่องจากโพลีแซคคาไรด์เป็นพวกโฮโมโพลีเมอร์ ส่วนโปรตีนจะมีโครงสร้างที่จำเพาะ (มีโมโนเมอร์มากกว่า 20 โมโนเมอร์) จึงให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่กว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลที่สูง สามารถเกิดพันธะได้ในตำแหน่งที่หลากหลายและมีความหลากหลายของพันธะ โดยขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ตัวทำละลาย พีเอช และสารต่างๆที่เติมลงไป (Cuq, *et al.*, 1995)

โปรตีนจากนม เป็นโปรตีนที่เหมาะในการนำมาผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพราะจะให้ฟิล์มที่มีคุณค่าทางอาหาร นอกจากนั้นยังให้คุณสมบัติอื่นๆที่สำคัญ เช่น สามารถละลายได้ในน้ำ และทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้ การใช้ประโยชน์ฟิล์ม

โปรตีนนม เช่น การห่อหุ้มผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต โดนัท หรือการเก็บรักษาความสดของผักผลไม้ (McHugh and Krochta,1994 a) จากการศึกษาของ Herald และคณะ (1995) ซึ่งเตรียมฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี ที่เตรียมจากกระบวนการที่แตกต่างกันคือการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray-dry : SD) และการทำแห้งแบบรวดเร็ว (flash-dry : FD) พบว่าโปรตีนข้าวสาลีที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีอนุภาคเล็กกว่าการทำแห้งแบบรวดเร็ว ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีเมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติก ยกเว้นคุณสมบัติในด้านการซึมผ่านของไอน้ำ (ตารางที่ 4) โดยฟิล์มจาก SD มีค่าการต้านแรงดึงและค่ายังโมดูลัสสูงกว่าฟิล์มจาก FD แต่ค่าการซึมผ่านไอน้ำใกล้เคียงกัน ส่วนฟิล์มพลาสติกมีค่าการต้านแรงดึงและค่ายังโมดูลัสต่ำกว่าฟิล์มจาก SDและ FD แต่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่าฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลีทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4 คุณสมบัติบางประการของฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลีและพลาสติก

Parameter	FD film	SD film	Plastic film
Film thickness (μm)	167	189	30
WVP (g/msPa)	7.7×10^{-9}	7.1×10^{-9}	3.09×10^{-13}
Tensile strength (MPa)	1.19	2.12	0.0643
Young's modulus (MPa)	12.32	24.67	11.83

ที่มา : Herald และคณะ (1995)

5.3 ฟิล์มไขมัน (lipid film)

การใช้ไขมันห่อหุ้มอาหารมีมาช้านานแล้ว เช่น การห่อหุ้มช็อกโกแลต และผลไม้ ไขมันหลายชนิดที่ใช้ในการห่อหุ้ม เช่น อซีทีเลต โมโนกลีเซอร์ไรด์ (acetylated monoglycerides) ไขธรรมชาติ และสารตึงผิว (surfactant) เนื่องจากไขมันมีความเป็นขั้วที่ต่ำ ดังนั้นหน้าที่พื้นฐานของฟิล์มไขมันคือ ป้องกันการสูญเสียความชื้นของอาหาร (Kester and Fennema, 1986) การใช้ไขมันในรูปบริสุทธิ์อาจมีข้อจำกัด เพราะฟิล์มไม่มีความ

สมบูรณ์และความทนทาน ดังนั้นจึงมักใช้โครงสร้างอื่นเป็นตัวยึด ไขมันสามารถรวมตัวกัน เกิดเป็นผลึก จึงมีความทึบป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้เป็นอย่างดี เนื่องจาก การผ่านของสารโดยผ่านระหว่างผลึก ดังนั้นคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านจึงขึ้นอยู่ กับการจัดเรียงตัวของผลึก ไขมันที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกค่อนข้างแน่น จะป้องกันการ ซึมผ่านของก๊าซได้ดีกว่าไขมันที่มีการจัดเรียงตัวกันของผลึกอย่างหลวมๆ (Donhowe and Fennema, 1994)

จากการศึกษาการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจากเวย์โปรตีนผสมไขมัน ซึ่งประกอบ ด้วย เวย์โปรตีนร้อยละ 56 ไขมันร้อยละ 28 และซอร์บิทอลร้อยละ 16 พบว่าเมื่อปริมาณ ของไขมันเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลง ส่วนผลของชนิดของไขมันต่อการซึม ผ่านของไอน้ำ พบว่า ฟิล์มจากกรดไขมันและฟิล์มจากขี้ผึ้งมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่า ฟิล์มจากไขมันพวกแอลกอฮอล์ (ตารางที่ 5) อาจเนื่องจากความแตกต่างของจุดหลอมตัว (melting point) ของไขมันแต่ละชนิด โดยเมื่อไขมันมีจุดหลอมตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ปฏิกิริยา ระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การละลาย (solubility coefficients) ของฟิล์มลดลง ค่า การซึมผ่านไอน้ำจึงลดลง (McHugh and Krochta, 1994 b)

ตารางที่ 5 ผลของชนิดของไขมันต่อการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มเวย์โปรตีนผสมไขมัน

Lipid type	Thickness (mm.)	Relative humidity (%)		Water vapor permeability (g-mm / kPa-h-m^2)	
		Down	Up	Down	Up
Palmitic acid	0.14	93	92	0.80	0.96
Myristic acid	0.27	95	95	0.99	0.98
Beewax	0.17	94	92	0.85	1.24
Stearyl alcohol	0.15	86	85	1.93	2.05
Hexadecanol	0.18	87	87	2.02	2.11
Tetradecanol	0.20	88	87	2.12	2.17

ที่มา : McHugh และ Krochta (1994 b)

Down หมายถึงด้านที่มีไขมันของฟิล์มอยู่ด้านในถ้วยซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์สูง

Up หมายถึงด้านที่มีไขมันของฟิล์มอยู่ด้านนอก ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

6. **ฟิล์มไคโตแซน** (Chitosan film)

การศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มจากไคโตแซนมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างของไคโตแซน เช่น ความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซที่ดี และความยืดหยุ่นของฟิล์ม การพัฒนาฟิล์มไคโตแซนโดยใช้ร่วมกับสารโพลิเมอร์ชนิดอื่น เช่น

6.1 ไคโตแซน - เซลลูโลส ฟิล์ม

ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ซึ่งผลิตจากไคโตแซนและเซลลูโลส ที่เป็นเส้นใยชนิดละเอียดมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดีและชอบน้ำ แต่ไม่ละลายในน้ำ ความแข็งแรงของฟิล์มเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของไคโตแซน ฟิล์มที่เปียกมีค่าการต้านแรงดึงสูงสุด (มากกว่า 1,000 kg/cm^2) ที่ระดับไคโตแซนร้อยละ 10 - 20 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) (Hosokawa, *et al.*, 1990) ฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและเซลลูโลส เกิดขึ้นเนื่อง

จากพันธะระหว่างไคโตแซนและเซลลูโลส การเพิ่มขึ้นของหมู่คาร์บอนิลในวัตถุดิบพวกเซลลูโลสจะทำให้เกิดการเชื่อมไขว้ดีขึ้น แม้ว่าเซลลูโลสจะมีหมู่คาร์บอนิลไม่มาก แต่ปริมาณที่น้อยนี้ก็มีส่วนสำคัญในการเกิดการเชื่อมไขว้กับไคโตแซน ในการเกิดฟิล์มหมู่อะมิโนของไคโตแซนจะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลส โดยหมู่อะมิโนในรูปเอมีนอิสระจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยามากกว่าในรูปเกลือ แสดงว่าในขั้นตอนของการเกิดฟิล์ม เริ่มจากการสร้างชิฟฟ์เบส (schiff base) โดยการเกิดการเชื่อมไข้วระหว่างหมู่คาร์บอนิลของเซลลูโลสและหมู่อะมิโนในรูปเอมีนอิสระ ของไคโตแซน (Hosokawa, *et al.*, 1990; Hosokawa, *et al.*, 1991)

6.2 ไคโตแซน - เพคติน ฟิล์ม

ฟิล์มจากเพคติน ซึ่งเกิดการเชื่อมไข้วกับแคลเซียมอิออน หรือมัลติวาเลนท์แคทอิออนอื่นๆ จะให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี จากการศึกษาของ Yao และคณะ (1996) เมื่อวัดไออาร์สเปคตรัมของเพคตินและไคโตแซน พบว่าในเพคตินมีหมู่คาร์บอกซิล ส่วนไคโตแซนมีหมู่อะมิโน และเมื่อวัดไออาร์สเปคตรัมของฟิล์มที่ผสมเพคตินและไคโตแซน พบพันธะระหว่างหมู่อะมิโนของไคโตแซนและหมู่คาร์บอกซิลของเพคติน แสดงถึงพันธะของเกลือระหว่างสายของหมู่อะมิโนของไคโตแซนและหมู่คาร์บอกซิลของเพคติน และอัตราการพองตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่พีเอช น้อยกว่า 2 และมากกว่า 7 ค่าอัตราการพองตัวจะแปรผันขึ้นกับอัตราส่วนของเพคตินและไคโตแซน และความเข้มข้นเริ่มต้นของเพคติน

7. การประยุกต์ใช้ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีการใช้มาเป็นเวลานานแล้ว เช่น ปลอกหุ้มไส้กรอกซึ่งทำจากลำไส้สัตว์ การใช้แว็กซ์ (wax) เคลือบผักและผลไม้เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวกับคุณสมบัติฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำให้สามารถผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้ประโยชน์ได้กว้างขึ้น เช่น ข้อจำกัดของฟิล์มพวกโพลีแซคคาไรด์คือป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ต่ำจึงปรับปรุงโดยการผสมไขมัน และฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะทำให้นักพัฒนาผลิตภัณฑ์สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆได้มากขึ้น (Anonymous, 1997)

ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายทางดังแสดงในตารางที่ 6 ตัวอย่างเช่น การใช้ฟิล์มจากเมทิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมท

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

ทิลเซลลูโลส เป็นตัวดูดซับน้ำมันในอาหารพวก ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวและถั่ว การใช้ฟิล์มโปรตีนจากข้าวโพดในการป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและไขมัน และเป็นตัวเชื่อมสารต่างๆกับผลิตภัณฑ์ ฟิล์มไขมันสามารถใช้ในการป้องกันการสูญเสียความชื้นของผักและผลไม้ เป็นต้น (Kester and Fennema ,1986 ; Stuchell and Krochta ,1995 ; Krochta and De Mulder - Johnston ,1997)

ตารางที่ 6 การใช้ประโยชน์ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

Material	Application	Function of coating
1. Polysaccharide[a]		
Methyl cellulose (MC)	Pork and poultry piece	Oil barrier
MC and Hydroxypropyl methyl cellulose	Potato product	Oil barrier
	onion ring	Oil barrier
	Food piece	Batter adhesion
Carboxymethyl cellulose	Banana, apple	Oxygen and carbondioxide barrier
Chitin/chitosan	Apples,pears,peaches	Oxygen and carbondioxide barrier
	Fresh strawberries	Postharvest decay control
Alginates	Breaded food	Moisture, lipid, oxygen barrier
	Frozen shrimp	Flavor, color, texture retention; breading adhesion
Carragenan	Frozen fish	Mechanism disintegration protection, moisture barrier

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Material	Application	Function of coating
2. Protein[a]		
Corn zein	Confectionaries	Oxygen, lipid, moisture barrier; antioxidant carrier; and stickiness prevention
Wheat gluten	Nuts	Salt binding
Casein	Peanut	Oxygen barrier
	Frozen salmon	Antioxidant carrier
3. Lipid		
Wax[b]	Fruit, vegetable	Moisture barrier
Acetylated monoglycerides[c]	Frozen king salmon	Moisture and oxygen barrier

ที่มา : [a] Krochta และ De Mulder - Johnston (1997)
[b] Kester และ Fennema (1986)
[c] Stuchell และ Krochta (1995)

8. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

คุณสมบัติของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วัตถุดิบที่ใช้เป็นโพลีเมอร์ พลาสติไซเซอร์ ตัวทำละลาย สารต่างๆที่เติมลงไปในฟิล์ม และสภาวะของการผลิตแผ่นฟิล์ม (Park, *et al.*, 1993 ; Chinnan and Park, 1995) บทบาทของแต่ละปัจจัยพอสรุปได้ดังนี้

8.1 ชนิดของโพลีเมอร์

โพลีเมอร์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีหลายชนิด เช่น โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ไขมัน และการผสมของโพลีเมอร์หลายชนิด โพลีเมอร์แต่ละชนิดทำ

ให้ฟิล์มมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ฟิล์มชนิดหนึ่งอาจให้คุณสมบัติที่เด่นในด้านหนึ่ง แต่อาจให้คุณสมบัติที่ด้อยในอีกด้าน เช่น ฟิล์มจากโปรตีนสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ไม่ดี แต่มีการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำ และฟิล์มจากโปรตีนยังสามารถใช้บริโภคได้เพราะมีคุณค่าทางอาหาร ฟิล์มจากกรดไขมันมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เนื่องจากความเป็นขั้วที่ต่ำ ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ผลิตจากไบโอโพลิเมอร์ชนิดต่างๆ (ตารางที่ 7) พบว่า ฟิล์มจากโพลีเมอร์แต่ละชนิดมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่างกันไป ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำที่สูงกว่าฟิล์มจากเซลลูโลส (MC, HPMC) และฟิล์มจากเซลลูโลสให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำที่สูงกว่าฟิล์มสังเคราะห์ (LDPE, HDPE) ส่วนฟิล์มจากขี้ผึ้งมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำสุด (Cuq, *et al.*,1995)

ตารางที่ 7 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มชนิดต่างๆ

Film	Water vapor permeability 10^{-12} mol.m.m^{2}.5^{-1}.Pa^{-1}	Temp (°C)	Thickness 10^{-6} m.	RH % condition
Soy protein (pH = 3)	23.00	25	83	100 - 50
Corn zein	6.45	21	200	85 - 00
HPMC	5.96	27	19	85 - 00
MC	5.23	30	75	11 - 00
Wheat gluten	5.08	30	50	100 - 00
HPC	2.89	30	75	11 - 00
LDPE	0.0482	38	25	95 - 00
HDPE	0.0122	38	25	97 - 00
Beewax	0.0122	25	120	87 - 00

ที่มา : Cuq และคณะ (1995)

8.2 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ เป็นสารประกอบที่ระเหยได้ยาก จุดเดือดสูง เติมลงไปเพื่อลดความกรอบของแผ่นฟิล์ม ซึ่งความกรอบของแผ่นฟิล์มเกิดจากแรงยึดระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ พลาสติไซเซอร์ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์อ่อนตัวลง เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์ม ทำให้การต้านแรงดึงลดลง แต่ในขณะเดียวกันเกิดโครงสร้างที่จับกันอย่างหลวมๆ เนื่องจากแรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ลดลงทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำลดลง (Kester and Fennema, 1986; Gontard, *et al.*, 1993) พลาสติไซเซอร์ซึ่งใช้กับอาหารมีหลายประเภทเช่น

- พวกโมโน ไดและโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส และน้ำผึ้ง
- พวก โพลีออล เช่น กลีเซอรอล ซอร์บิทอล แมนนิทอล โพรพิลีนไกลคอล และโพลีเอททีลีน ไกลคอล

จากการศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ในฟิล์มจากเวย์โปรตีน พบว่าพลาสติไซเซอร์สามารถลดแรงระหว่างพันธะไฮโดรเจน และเพิ่มช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ลดความเปราะและเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำ (McHugh, *et al.*, 1994) พลาสติไซเซอร์แต่ละชนิดมีผลต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มเวย์โปรตีนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 8) ฟิล์มมีค่าการซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มจากเวย์โปรตีน ที่ 25 องศาเซลเซียส

Plasticizer	Thickness (mm.)	RH inside cup (%)	WVP (g.mm./kPa.h.m^2)
37.5 % Glycerol	0.121	65.1	4.99 ± 0.10
50 % Glycerol	0.121	59.1	6.44 ± 0.39
50 % PEG 200	0.116	61.6	5.61 ± 0.57
50 % PEG 400	0.115	62.6	5.40 ± 0.49
37.5 % Sorbitol	0.129	79.4	2.58 ± 0.18
50 % Sorbitol	0.136	75.0	3.53 ± 0.21

ที่มา : McHugh และคณะ (1994)

ชนิดของพลาสติไซเซอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ

8.2.1 กลีเซอรีน

กลีเซอรีน หรือ กลีเซอรอล มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3 - propanetriol, glycerol และ trihydroxypropane สูตรทางเคมีคือ $C_3H_8O_3$ สูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 3 น้ำหนักโมเลกุล 92.10 (JECFA, 1993)

CH_2OH
|
CHOH
|
CH_2OH

รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรีน

ที่มา : JECFA (1993)

จากการศึกษาผลของกลีเซอรีนต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตจากเพคตินและแป้ง โดยอัตราส่วนของ เพคติน : แป้ง เท่ากับ 90 : 10 (ตารางที่ 9) ผลปรากฏว่าเมื่อระดับของ

กลีเซอรีนเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 45 การเปลี่ยนแปลงของการต้านแรงดึงมีน้อยมาก ค่าการยืดตัวเมื่อขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่าโมดูลัสลดลงเมื่อใช้กลีเซอรอลในระดับต่ำ เมื่อระดับของกลีเซอรีนมากกว่าร้อยละ 45 พบว่าค่าโมดูลัสและการต้านแรงดึงลดลงอย่างรวดเร็ว และที่ความเข้มข้นของกลีเซอรีนร้อยละ 60 และ 75 ไม่พบรอยแตกของฟิล์ม (Coffin and Fishman, 1994)

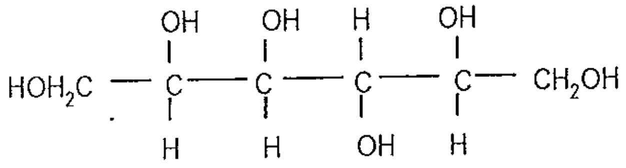
ตารางที่ 9 ผลของกลีเซอรีนต่อคุณสมบัติของฟิล์มเพคตินและแป้ง (90 : 10)

% Glycerine	Tensile strength (Pa)	Modulus (Pa)	Elongation to break (%)
16	2.7×10^{7}	3.4×10^{9}	1.8
30	2.0×10^{7}	2.6×10^{9}	1.2
45	2.7×10^{7}	1.7×10^{9}	3.1
60	$>1.7 \times 10^{7}$	7.6×10^{8}	>13.0
75	$>3.4 \times 10^{6}$	7.5×10^{7}	>13.0

ที่มา : Coffin และ Fishman (1994)

8.2.2 ซอร์บิทอล

ซอร์บิทอล หรือ D - glucitol, D - sorbitol, sorbit และ sorbol มีชื่อทางเคมีว่า D - glucitol สูตรทางเคมีคือ $C_6H_{14}O_6$ สูตรโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 4 น้ำหนักโมเลกุล 182.17 จุดเดือด 88 - 102 องศาเซลเซียส (JECFA, 1993)



รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของซอร์บิทอล

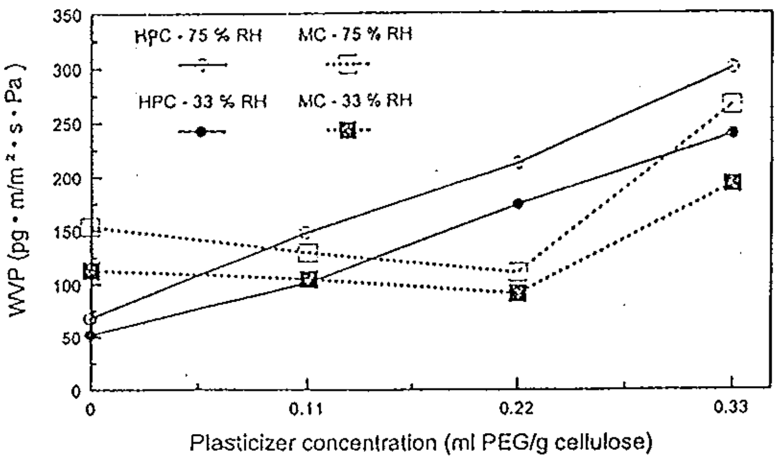
ที่มา : JECFA (1993)

จากการศึกษาของ Cherian และคณะ(1995) พบว่าซอร์บิทอลสามารถเข้าได้ดีกับกลีเซอรีนและโปรตีนข้าวสาลี ฟิล์มที่มีซอร์บิทอลจะให้ค่า Tg (glass transition temperature : อุณหภูมิที่สารเปลี่ยนจากรูปหนึ่งเป็นอีกรูปหนึ่ง) ต่ำลง และลดการซึมผ่านของไอน้ำ แต่ยังคงคุณสมบัติเชิงกลที่ดีของฟิล์มอยู่ ซอร์บิทอลมีความสามารถในการเป็น พลาสติไซเซอร์ได้ดีกว่าซูโครส และสามารถลดค่า Tg ของระบบได้มากกว่าซูโครส การลดต่ำลงของ Tg สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่มีซอร์บิทอลเมื่อเปรียบเทียบกับซูโครส

8.2.3 โพลีเอททีลีนไกลคอล (polyethylene glycol, PEG)

โพลีเอททีลีนไกลคอล (polyethylene glycol, PEG) มีชื่อทางเคมีคือ α hydro - ω - hydroxypoly (oxy - 1,2 - ethanediol) สูตรทางเคมีคือ $(C_2H_4O)_{n+1}H_2O$ สูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $HOCH_2—(CH_2—O—CH_2)_n—CH_2OH$ น้ำหนักโมเลกุล 200 - 9,500 (JECFA,1993)

จากการศึกษาของ Chinnan และ Park (1995) ซึ่งศึกษาผลของ PEG ในฟิล์มซึ่งผลิตจากเมททิลเซลลูโลส (MC) และ ไฮดรอกซี่โพรพิลเซลลูโลส (HPC) โดยใช้ PEG เป็นพลาสติไซเซอร์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ PEG เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 0.33 มล./กรัมเซลลูโลส ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม HPC เพิ่มขึ้น ส่วนค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม MC ลดลงเมื่อความเข้มข้นของ PEG เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 0.22 มล./กรัมเซลลูโลส และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ PEG เพิ่มขึ้นจาก 0.22 เป็น 0.33 มล./กรัมเซลลูโลส (รูปที่ 5) ซึ่งพลาสติไซเซอร์สามารถเป็นทั้งตัวส่งเสริมและชะลอการซึมผ่านของความชื้นผ่านฟิล์มพวกเซลลูโลส โดยขึ้นกับความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์ และผิวหน้าของฟิล์มเซลลูโลสซึ่งมีระดับของพลาสติไซเซอร์สูง จะมีลักษณะเรียบกว่าฟิล์มที่มีระดับของพลาสติไซเซอร์ต่ำ



รูปที่ 5 ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจาก MC และ HPC

ที่มา : Chinnan และ Park (1995)

8.3 ตัวทำละลาย

8.3.1 ชนิดของตัวทำละลาย

ในการเตรียมฟิล์มจากโปรตีนซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ เช่น โปรตีนจากพืช จำเป็นต้องอาศัยตัวทำละลายโปรตีน เช่น สารละลายอินทรีย์ จากการศึกษาของ Yamada และคณะ (1995) ซึ่งผลิตฟิล์มจากโปรตีนข้าวโพด โดยใช้ตัวทำละลายโปรตีน 2 ชนิดคือ เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 20 (ปริมาตร/ปริมาตรน้ำ) และอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 30 (ปริมาตร/ปริมาตรน้ำ) ผลปรากฏว่าตัวทำละลายทั้งสองชนิด สามารถละลายโปรตีนจากข้าวโพดได้ดี โดยฟิล์มที่ใช้ตัวทำละลายทั้งสองให้คุณสมบัติของความแข็งแรงในการแตกหักใกล้เคียงกับฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ ฟิล์มที่ใช้เอทานอลจะมีความใสและความเรียบของผิวหน้ามากกว่า และแสดงคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้น้อยกว่าฟิล์มที่ใช้อะซิโตน ส่วนคุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่าน ฟิล์มที่ใช้เอทานอลมีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนสูง

8.3.2 ปริมาณของตัวทำละลาย

การเตรียมสารละลายเพื่อผลิตฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี ความเข้มข้นของตัวทำละลายคือเอทานอล แสดงผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มในด้านความขุ่น การละลายและการซึมผ่านของไอน้ำ โดยเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้นและพีเอชมากกว่า 4 ฟิล์มที่ได้มีความขุ่น การละลาย และการซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ฟิล์มมีคุณสมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้นเนื่องจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของฟิล์ม โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของเอทานอลประมาณร้อยละ 70 และพีเอช 5 - 6 พบว่าฟิล์มสามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ (Gontard, *et al.*, 1992)

8.4 พีเอช

พีเอช มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล ความขุ่น การละลายน้ำ และการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี เมื่อใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 35 (มล./ มล.สารละลาย) ละลายกลูเต็น มีผลทำให้ความขุ่นของฟิล์มลดลงเมื่อพีเอชลดลง ซึ่งอาจสัมพันธ์กับความเป็นเนื้อเดียวกันของฟิล์มที่ดีขึ้น เนื่องจากโปรตีนกลูเต็นในฟิล์มมีการกระจายตัวดีขึ้น ที่พีเอชต่ำโปรตีนที่มีความสามารถในการละลายได้น้อยสามารถละลายได้ และโครงสร้างของโมเลกุลจะคลายเกลี่ยวเมื่อมีประจุบวกที่มากเกินพอ การผลิตฟิล์มที่ดีควรใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 32.5 พีเอช 4 หรือเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 45 พีเอช 2 เนื่องจากในสภาพดังกล่าว การคลายเกลียวของโปรตีนและการกระจายตัวของโปรตีนในสารละลายของฟิลม์มีเพียงพอ ทำให้เกิดความเป็นเนื้อเดียวกันและฟิล์มที่ได้จะใส เพราะไม่มีอนุภาคที่ไม่สามารถละลายได้เหลืออยู่ ส่วนคุณสมบัติในการละลายนั้น เมื่อพีเอชลดลงความสามารถในการละลายของฟิล์มลดลง อาจเนื่องจากการกระจายตัวที่ดีของโปรตีนในสภาพกรด เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลต่ำ การลดลงของพีเอชอาจเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม ที่พีเอชต่ำโปรตีนสามารถคลายเกลียวและทำให้เกิดส่วนที่ชอบน้ำบนผิวของโปรตีน ทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย (Gontard, *et al.*, 1992)

8.5 สารต่างๆ ที่เติมในฟิล์ม

ในการผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อใช้ห่อหุ้มอาหาร อาจมีการเติมสารต่างๆ เช่น สารกันหืน สารป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ สารให้กลิ่นรส และสารให้คุณค่าทางโภชนาการ เป็นต้น การเติมสารต่างๆเหล่านี้เข้าไปในฟิล์มอาจส่งผลต่อคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซหรือไอน้ำ ผลกระทบที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่เติมลงไป โครงสร้างทางเคมีของสาร การกระจายตัวของสารในฟิล์ม และการทำปฏิกิริยากับโพลิเมอร์ที่ใช้ผลิตฟิล์ม (Kester and Fennema, 1986) ผลของสารต่างๆ ที่เติมในฟิล์มแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คุณสมบัติของฟิล์มโปรตีนจากข้าวโพดเมื่อเติมสารต่างๆ เปรียบเทียบกับฟิล์มโพลีไวนิลลิดีน คลอไรด์

Treatment	Elongation (%)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	Water vapor permeability (g/msPa)
Corn Zein Films :				
no additive(s)	213.3	3.9	17.8	11.9
antioxidant	194.1	3.5	16.6	5.7
bacterial enzyme	186.8	3.1	14.7	6.0
emulsifier	211.7	3.7	19.7	6.3
emulsifier + enzyme	175.3	4.4	23.9	9.6
emulsifier + antioxidant	189.3	3.4	18.6	7.0
emulsifier + antioxidant + enzyme	223.7	3.4	16.1	8.7
Polyvinylidine chloride	8.8	37.9	437.3	0.011

ที่มา : Herald และคณะ (1996)

การเติมสารต่างๆ ในฟิล์มจากข้าวโพดพบว่า สารทุกชนิดที่ใช้ไม่มีผลต่อค่าการยืดตัวเมื่อขาด ค่าการต้านแรงดึงและค่ายังโมดูลัสอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเติมสารเหล่านั้นทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำลดลง เมื่อเทียบกับฟิล์มโปรตีนจากข้าวโพดที่ไม่เติมสาร

9. คุณสมบัติของฟิล์ม

มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิทัต (2533) ได้แบ่งคุณสมบัติของฟิล์มไว้ดังนี้

9.1 คุณสมบัติทางกล

คุณสมบัติทางกลเป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวกับความเหนียว และความแข็งแรงของแผ่นฟิล์ม คุณสมบัติที่สำคัญ เช่น การต้านแรงดึง การยืดตัว การต้านแรงกระแทกและการต้านแรงฉีกขาด เป็นต้น

การต้านแรงดึง (tensile strength) หมายถึง ความสามารถของฟิล์มในการต้านแรงดึง ซึ่งกระทำที่ปลายข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่ จนแผ่นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (kN/m^2) หรือกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (kgf/cm^2) ส่วนการยืดตัว (elongation) จะมีหน่วยเป็นร้อยละของความยาวเดิมของแผ่นทดสอบ เป็นค่าที่บอกถึงความเหนียวของฟิล์มและการใช้งาน

9.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงลักษณะภายนอกที่มองเห็น และความสามารถในการสกัดกั้นไอน้ำ อากาศ และไขมัน รวมทั้งความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

9.2.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น หมายถึงน้ำหนักของชิ้นทดสอบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ. อุณหภูมิที่กำหนด หน่วยที่นิยมใช้คือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) และกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) คุณสมบัติข้อนี้บางครั้งใช้สำหรับการบ่งบอกชนิดของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกได้ เพราะถ้าฟิล์มหรือพลาสติกต่างชนิดกันมักมีค่าของความหนาแน่นต่างกัน

9.2.2 ความหนา

ความหนา หมายถึงระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติก มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (ไมครอน) หรือมิลลิเมตร ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่นๆ

เช่น ความคงรูป การต้านแรงดึง การต้านแรงฉีกขาด ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและอากาศ เป็นต้น

9.2.3 การดูดซับน้ำ

การดูดซับน้ำ หมายถึงปริมาณน้ำที่ฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกดูดซับไว้ในระยะเวลาที่กำหนด คุณสมบัตินี้มีความสำคัญเพราะถ้าฟิล์มหรือพลาสติกดูดซับน้ำได้มากมีผลให้เกิดการบวม อีกทั้งทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซลดลงอีกด้วย ค่าการดูดซับน้ำสามารถวัดเป็นหน่วยร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อผ่านการดูดซับน้ำภายใต้สภาวะที่กำหนด

9.2.4 ความต้านทานไขมัน / น้ำมัน (fat / oil resistance)

ความต้านทานไขมัน / น้ำมัน มีความสำคัญเมื่อผลิตภัณฑ์ที่บรรจุมีไขมันหรือน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูง วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัตินี้ใช้น้ำมันสนเป็นตัวแทนของน้ำมัน จับเวลาที่น้ำมันสนปริมาตรที่กำหนด ซึมผ่านผิวหน้าหนึ่งของชิ้นทดสอบมายังอีกผิวหน้าหนึ่ง

9.2.5 อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR)

อัตราการซึมผ่านไอน้ำ หมายถึงปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งของหน่วยพื้นที่ผิวของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติก ในระยะเวลาที่กำหนด และภายใต้สภาวะที่คงที่ มีหน่วยเป็นกรัม / ตารางเมตร / 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์

9.2.6 อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (gas transmission rate, GTR)

อัตราการซึมผ่านของก๊าซ หมายถึงปริมาณของก๊าซที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งของหน่วยพื้นที่ผิวของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติก ในระยะเวลาที่กำหนด และภายใต้สภาวะที่คงที่ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร / ตารางเมตร / วัน /บรรยากาศ ที่อุณหภูมิในการวิเคราะห์

ไอน้ำและก๊าซสามารถซึมผ่านวัสดุที่ใช้ในการห่อหุ้มอาหารโดยผ่านรูขนาดเล็กหรือการชักนำให้เกิดการแพร่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของส่วนประกอบ (Rizvi and Mittal, 1992) การซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ สามารถคำนวณได้จาก กฎข้อที่หนึ่งของฟิค (Fick's first law) (Rizvi and Mittal, 1992 ; Chinnan and Park, 1995) การวัด

การซึมผ่านของไอน้ำตามวิธีการของ Kester และ Fennema (1983) ซึ่งดัดแปลงวิธีการของ ASTM (1983) สามารถคำนวณจาก

$$WVP = C.\Delta X / A.\Delta P = (g).(mil.)/(m^2).(day).(mmHg.)$$

เมื่อ WVP = water vapor permeability

X = ความหนาของฟิล์ม

A = พื้นที่ของฟิล์ม

ΔP = ความแตกต่างของแรงดันไอน้ำทั้งสองด้านของฟิล์ม

ΔC = ความชันของเส้นกราฟระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการซึมผ่านของไอน้ำกับเวลา

9.3 การย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม

การย่อยสลายของฟิล์มหรือพลาสติก โดยทั่วไปมักเกิดขึ้นด้วยวิธีการที่สำคัญ 2 วิธี คือ การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) และการย่อยสลายด้วยแสง (photodegradation)

9.3.1 การย่อยสลายทางชีวภาพ

การย่อยสลายทางชีวภาพเกิดจากฟิล์มหรือพลาสติก ที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์เจริญเติบโตสามารถผลิตเอนไซม์ที่ไปทำลายสายของคาร์บอนในโพลิเมอร์ (Emsley, 1991 ; อัจฉราวดี สัตยพานิช, 2536) ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์ม ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ อุณหภูมิ ความชื้น พีเอช ชนิดของจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและ/หรือจุลินทรีย์ คุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่าง ระยะเวลาในการย่อยสลาย และวิธีการในการย่อยสลาย (Emsley, 1991; Huang, 1989) นอกจากนั้นยังพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์มตามรายงานของ Huang (1989) คือ

- หมู่ฟังก์ชั่นของโพลิเมอร์ ระบบทางชีวภาพสามารถย่อยสลายฟิล์มโดยการไฮโดรไลซิสหรือออกซิเดชั่น ดังนั้นฟิล์มจึงต้องมีหมู่ฟังก์ชั่นในสายของโพลิเมอร์ที่จะสามารถย่อยหรือออกซิไดซ์ (มีผลน้อย) ได้

- ตำแหน่งที่เหมาะสมบนสายของโพลิเมอร์ การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ สายของโพลิเมอร์ต้องมีตำแหน่งที่ทำให้ active site ของเอนไซม์เข้าไปจับได้

- ลักษณะของโพลีเมอร์ โพลิเมอร์ควรมีลักษณะที่ทำให้เอนไซม์เข้าไปทำงานได้ง่าย เช่น โพลิเมอร์ที่มีความขุ่นสูง การย่อยสลายก็จะสูงด้วย

- การเติมสาร สารต่างๆที่เติมเข้าไปในการผลิตฟิล์มมีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์ม เช่น การเติมพลาสติไซเซอร์ จะทำให้อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น แต่การเติมสารที่ไปทำลายจุลินทรีย์จะลดอัตราการย่อยสลาย

- การเกิดออกซิเดชั่น การเกิดออกซิเดชั่นอาจช่วยส่งเสริมการย่อยสลายทางชีวภาพ Whelan (1994) ได้กล่าวถึงการเกิดออกซิเดชั่นของโพลีเมอร์ว่าหมายถึงการย่อยสลายโดยการออกซิเดชั่น (oxidative degradation) ซึ่งเกิดจากการกระทำของออกซิเจน และเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโพลีเมอร์ โดยทั่วไปสิ่งแรกที่จะเปลี่ยนคือสี การเกิดออกซิเดชั่นอาจมีผลต่อคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติอื่นๆ ของฟิล์ม แม้ว่าจะยังไม่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสี

9.3.2 การย่อยสลายด้วยแสง

ฟิล์มหรือพลาสติกที่สามารถย่อยสลายด้วยแสง เนื่องจากมีการเติมสารที่สามารถดูดซับแสงลงไปในฟิล์ม สารดังกล่าวจะไปจับที่แกนกลางของโพลีเมอร์ เมื่อได้รับแสง สารดังกล่าวจะดูดซับแสงแล้วมีพลังงานมากพอที่จะไปจับโมเลกุลของโพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตฟิล์ม การเข้ามาของพลังงานจำนวนมากมีผลไปทำลายพันธะทางเคมีของโพลีเมอร์ การแตกหักของสายโพลีเมอร์ทำให้ฟิล์มมีความกรอบ และเกิดการย่อยสลาย (Emsley, 1991)

การวัดการย่อยสลายสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น

- การใช้เอนไซม์ (Hosokawa, *et al.*, 1990)
- การใช้จุลินทรีย์ (ASTM,1996 a ; Hosokawa , *et al*, 1990)
- การฝังดิน (Goheen and Wool,1991)

การย่อยสลายฟิล์มที่ผลิตจากโพลิเมอร์จากธรรมชาติอาจใช้เวลาไม่กี่วัน แต่การย่อยสลายฟิล์มที่ผลิตจากโพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์อาจใช้เวลาหลายปี หรืออาจเป็นทศวรรษ (Emsley, 1991) ตัวอย่างเช่น จากการย่อยสลายของฟิล์มสังเคราะห์ พวก โพลี

เอททีลีน (polyethylene : PE) โดยจุลินทรีย์เป็นระยะเวลาถึง 10 ปี ยังไม่เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ (Albertsson and Karlsson, 1988) แต่การย่อยสลายของฟิล์มไคโตแซนผสมเซลลูโลส ที่มีไคโตแซนร้อยละ 30 และกลีเซอรอลร้อยละ 75 ด้วยจุลินทรีย์ สามารถย่อยสลายหมดในเวลา 11 วัน (Hosokawa *et al.*,1990)

10. การยืดอายุการเก็บรักษาปลาสดแช่เยือกแข็ง

การเก็บรักษาปลาโดยการแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาสัตว์น้ำ ซึ่งช่วยป้องกันหรือลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ไม่ต้องการ ในขณะเดียวกันยังคงลักษณะเดิมของเนื้อปลาไว้ แต่อย่างไรก็ตาม ในการเก็บรักษาที่ต้องใช้เวลานาน การเสื่อมคุณภาพของปลาหรือผลิตภัณฑ์จากปลา ยังคงมีอยู่ค่อนข้างมาก (Stuchell and Krochta, 1995) คุณภาพของอาหารทะเลและอายุในการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับความแตกต่างทางชีวภาพของสัตว์น้ำแต่ละชนิด รวมทั้งวิธีการและสภาวะในการเก็บรักษาสัตว์น้ำก่อนการแช่เยือกแข็งและระหว่างการแช่เยือกแข็ง โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของสัตว์น้ำในระหว่างการแช่เยือกแข็งจะประกอบด้วย การสูญเสียสภาพของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรส การแยกของกล้ามเนื้อ (Wheaton and Lawson, 1985) และการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ นำไปสู่การสูญเสียคุณภาพของปลาสดแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บรักษา

การยืดอายุการเก็บรักษาปลาสดแช่เยือกแข็งสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การเคลือบผิว การใช้สิ่งห่อหุ้ม การบรรจุที่เหมาะสม และการควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษา (Sikorski and Kolakowska, 1990)

การเคลือบผิวสัตว์น้ำแช่เยือกแข็งด้วยน้ำเป็นวิธีการที่มีการใช้กันมานานแล้ว ซึ่งค่อนข้างมีประสิทธิภาพและประหยัดค่าใช้จ่าย นอกจากนั้นสารละลายอื่นๆที่ใช้ในการเคลือบ เช่น ไซรับจากข้าวโพด (corn zyrup solid) กัมจากเซลลูโลส เพคติน คาราจีแนน อัลจิเนต และไขมัน (AMGs : Acetylated monoglyceride) การเคลือบด้วยเจลพวกอัลจิเนตนอกจากสามารถช่วยป้องกันการแห้งแล้ว ยังช่วยทำให้สามารถแยกปลาออกจากบล็อกได้ง่ายก่อนการละลาย (Sikorski and Kolakowska, 1990; Stuchell and Krochta, 1995)

การบรรจุที่เหมาะสมมีผลต่ออายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำ เนื่องจากอาหารทะเลแช่เยือกแข็งซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำอาจเกิดลักษณะที่แห้ง หรือรอยไหม้จากการแช่แข็ง (freezer burn) ได้ง่าย ดังนั้นการบรรจุที่เหมาะสมจะลดปัญหาดังกล่าวได้ วัสดุที่ใช้ในการบรรจุจะต้องคำนึงถึงในเรื่องของ ความทนทานต่อความชื้น ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ น้ำ และไขมัน การบรรจุอาหารทะเลแช่เยือกแข็งอาจบรรจุในสภาวะสุญญากาศ บรรจุในถุงพลาสติก บรรจุแบบหดรัดผลิตภัณฑ์ (shrink packaging) บรรจุโดยใช้ฟิล์มหุ้มด้านบนถาด หรือบรรจุใส่กล่อง (Ghazala, 1994)

การควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาของปลาแช่เยือกแข็งมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียสภาพของโปรตีนในกล้ามเนื้อปลา โปรตีนจะสูญเสียสภาพเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่ต่ำเพียงพอ เช่น - 8 °ซ ถึง - 10 °ซ และกล้ามเนื้อปลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 40 °ซ จะมีความคงตัวมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20 °ซ (Jiang, *et al.*, 1988)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากไคโตแซน
2. ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้และความสามารถในการย่อยสลาย
3. ศึกษาแนวทางในการนำฟิล์มที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นข้อมูลแก่ผู้สนใจต่อไป

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การผลิตไคโตแซน และการวิเคราะห์คุณสมบัติของไคโตแซน

วัสดุอุปกรณ์

1. เปลือกกุ้งกุลาดำ
2. อุปกรณ์และสารเคมีในการสกัดไคโตแซน
3. ตู้อบลมร้อน
4. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ
5. เครื่องบดสมุนไพร

วิธีการ

1 การผลิตไคโตแซน

ผลิตไคโตแซนโดยดัดแปลงวิธีการของ Benjakul และ Sophanodora (1993) ดังนี้

1.1 การเตรียมเปลือกกุ้งกุลาดำ

นำเปลือกกุ้งกุลาดำมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดเล็กลง นำไปล้างด้วยน้ำอีกครั้ง แล้วสะเด็ดน้ำเพื่อนำไปสกัดไคตินต่อไป

1.2 การเตรียมไคติน

นำเปลือกกุ้งกุลาดำที่เตรียมไว้มาทำการกำจัดโปรตีน โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 100°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของเปลือกกุ้ง : สารละลายเท่ากับ 1 : 6 (น้ำหนัก / ปริมาตร) ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง จากนั้นทำการกำจัดแร่ธาตุ ด้วยสารละลายกรดไฮโดคลอริกความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ ที่อุณหภูมิห้องโดยมีการกวนร่วมด้วย ทิ้งไว้ค้างคืน ใช้อัตราส่วนของเปลือกกุ้ง : สารละลายเท่ากับ 1 : 12 (น้ำหนัก / ปริมาตร) ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ° ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

1.3 การเตรียมไคโตแซน

นำไคตินที่เตรียมไว้มาทำการกำจัดหมู่อะซิติล โดยการทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 (น้ำหนัก / น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 100° ซ ภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราส่วนไคติน : สารละลายด่างเท่ากับ 1 : 30 (น้ำหนักแห้ง / ปริมาตร) ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง กำจัดหมู่อะซิติลซ้ำอีก 1 ครั้งโดยใช้เวลา 30 นาที ด้วยอัตราส่วนไคติน : สารละลายด่างเท่ากับ 1 : 5 (น้ำหนักเปียก / ปริมาตร) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดหมู่อะซิติล นำไคโตแซนที่ได้มาล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำไคโตแซนที่ได้มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร

2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของไคโตแซน

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของไคโตแซนดังนี้คือ

- ความชื้น เถ้า และไนโตรเจน ตามวิธีการของ A.O.A.C. (1990)
- ระดับหมู่อะซิติล โดยใช้เทคนิค cross - polarization magic angle spinning NMR (CP - MAS - NMR) ด้วยเครื่อง AVANCE 300 Mhz Digital NMR Spectrometer รุ่น DPX - 300 ของ Bruker Switzerland ทำการวิเคราะห์โดยงานบริการเทคนิค ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กรุงเทพฯ
- ความหนืด เตรียมสารละลายไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 1 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 แล้วจึงวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น RVDV - II + โดยใช้หัวเข็มเบอร์ 2 ความเร็ว 60 rpm.

2. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจาก ไคโตแซน

วัสดุ อุปกรณ์

1. เมททิลเซลลูโลส (methylcellulose, MC)
2. ไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose, HPMC)
3. กลีเซอรอล (glycerol)
4. ซอร์บิทอล (sorbitol)
5. กรดไขมัน (ลอริก และสเตียริก)

6. เครื่องทำสุญญากาศ
7. อุปกรณ์สำหรับหล่อฟิล์ม
9. ตู้อบลมร้อน

วิธีการ

ทำการศึกษาผลของปริมาณไคโตแซน ชนิดและปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลส พลาสติไซเซอร์ และกรดไขมัน ต่อคุณสมบัติของฟิล์ม โดยอนุพันธ์เซลลูโลสที่ใช้ 2 ชนิด คือ เมททิลเซลลูโลสและไฮดรอกซี่โพรพิลเมททิลเซลลูโลส พลาสติไซเซอร์ 2 ชนิดที่ใช้คือ กลีเซอรอลและซอร์บิทอล ส่วนกรดไขมันที่ใช้ 2 ชนิดคือ กรดลอริกและกรดสเตียริก

1 การศึกษาผลของปริมาณไคโตแซนต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

เตรียมสารละลายไคโตแซนที่มีความเข้มข้นต่างๆ ตามชุดการทดลอง โดยละลายไคโตแซนในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 กำจัดฟองอากาศในสารละลายผสมด้วยเครื่องทำสุญญากาศ เตรียมฟิล์มโดยเทสารละลายลงในจานพลาสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50°ซ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วจึงลอกฟิล์มที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยมีชุดการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลองคือ

ชุดการทดลองที่ 1 ไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 0.50
ชุดการทดลองที่ 2 ไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 0.75
ชุดการทดลองที่ 3 ไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 1.00
ชุดการทดลองที่ 4 ไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 1.25
ชุดการทดลองที่ 5 ไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 1.50

2 การศึกษาผลของเมททิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

เตรียมสารละลายไคโตแซน ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 เตรียมสารละลายเมททิลเซลลูโลสโดยละลายเมททิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ในน้ำกลั่น นำสารละลายทั้งสองมาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนตามชุดการทดลอง กำจัดฟองอากาศในสารละลายผสมโดยใช้เครื่องทำสุญญากาศ จากนั้นนำไปเตรียมฟิล์มตามวิธีการข้างต้น แล้วจึงลอกฟิล์มที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยมีชุดการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการดลอง

ชุดการทดลองที่ 1 สารละลาย MC ความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก / น้ำหนัก ไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 2 สารละลาย MC ความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนัก / น้ำหนัก ไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 3 สารละลาย MC ความเข้มข้นร้อยละ 40 (น้ำหนัก / น้ำหนัก ไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 4 สารละลาย MC ความเข้มข้นร้อยละ 60 (น้ำหนัก / น้ำหนัก ไคโตแซน)

ชุดการทดลองที่ 5 สารละลาย MC ความเข้มข้นร้อยละ 80 (น้ำหนัก / น้ำหนัก ไคโตแซน)

3 การศึกษาผลของไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

เตรียมสารละลายไคโตแซน ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 เตรียมสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลสโดยละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ในน้ำกลั่น นำสารละลายทั้งสองมาผสมให้เข้ากัน โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลสเช่นเดียวกับเมททิลเซลลูโลส 5 ระดับคือความเข้มข้นร้อยละ10, 20, 40, 60 และ 80 (น้ำหนัก/น้ำหนักไคโตแซน) กำจัดฟองอากาศในสารละลายผสมโดยใช้เครื่องทำสุญญากาศ จากนั้นนำไปเตรียมฟิล์มตามวิธีการข้างต้น แล้วจึงลอกฟิล์มที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยมีชุดการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง

4 การศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

เลือกฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในด้านคุณสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ การต้านแรงดึง และการยืดตัวเมื่อขาด จากผลการศึกษาผลของปริมาณไคโตแซน ปริมาณเมททิลเซลลูโลส และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์ม เตรียมสารละลายสำหรับหล่อฟิล์มแล้วนำมาผสมกับพลาสติไซเซอร์ 2 ชนิดที่ใช้คือ กลีเซอรอลและซอร์บิทอล (เตรียมโดยการละลายน้ำ) แล้วเติมลงไปในสารละลายสำหรับหล่อฟิล์มผสมให้เข้ากัน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตามชุดการทดลอง กำจัดฟองอากาศโดยใช้เครื่องทำสุญญากาศ แล้วนำมาเตรียมฟิล์มตามวิธีการข้างต้น ลอกฟิล์มที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

วางแผนการทดลองแบบ CRD จัดชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ

4.1 ชนิดของฟิล์ม 3 ชนิดซึ่งคัดเลือกจากผลการศึกษาผลของปริมาณไคโตแซน ปริมาณเมททิลเซลลูโลส และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลสต่อคุณ

สมบัติของฟิล์ม

4.2 ชนิดของพลาสติไซเซอร์ 2 ชนิดคือ กลีเซอรอล และซอร์บิทอล

4.3 ปริมาณของพลาสติไซเซอร์แต่ละชนิด 5 ระดับคือ ความเข้มข้นร้อยละ 0, 15, 30, 45 และ 60 (น้ำหนัก / น้ำหนักโพลีเมอร์)

ดังนั้นการทดลองประกอบด้วยชุดการทดลองทั้งหมด 3 x 2 x 4 เท่ากับ 24 ชุดการทดลอง

5 การศึกษาผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

เลือกฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในด้านคุณสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ การต้านแรงดึง และการยืดตัวเมื่อขาด จากผลการศึกษาผลของปริมาณไคโตแซน ปริมาณเมททิลเซลลูโลส และปริมาณไฮดรอกซี่โพรพิลเมททิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์ม มาศึกษาผลของกรดไขมัน 2 ชนิดคือกรดลอริกและกรดสเตียริก โดยนำสารละลายที่จะผลิตฟิล์มมาผสมกับสารละลายของกรดไขมัน (เตรียมโดยละลายในเอทานอลและให้ความร้อนเพื่อให้ไขมันละลาย) ในอัตราส่วนที่ต่างกันตามชุดการทดลอง ตีผสมให้เข้ากัน กำจัดฟองอากาศในสารละลายผสมด้วยเครื่องทำสุญญากาศนำสารละลายผสมมาเตรียมฟิล์มตามวิธีการข้างต้น ลอกฟิล์มที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

วางแผนการทดลองแบบ CRD จัดชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ

5.1 ชนิดของฟิล์ม 3 ชนิดซึ่งคัดเลือกจากผลการศึกษาผลของปริมาณไคโตแซน ปริมาณเมททิลเซลลูโลส และปริมาณไฮดรอกซี่โพรพิลเมททิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

5.2 ชนิดของกรดไขมัน 3 ชนิดคือ กรดลอริก กรดสเตียริก และส่วนผสมของกรดลอริกกับกรดสเตียริก (อัตราส่วน 50 : 50)

5.3 ปริมาณของกรดไขมันทั้ง 3 ชนิดความเข้มข้นร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 (น้ำหนัก / น้ำหนัก โพลีเมอร์)

ดังนั้นการทดลองประกอบด้วยชุดการทดลองทั้งหมด 3 x 3 x 4 เท่ากับ 36 ชุดการทดลอง

3. การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการย่อยสลาย

วัสดุ อุปกรณ์

1. ไมโครมิเตอร์ (Dial micrometer) ยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT-313-A (รูปที่ 7)
2. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (universal testing machine) ยี่ห้อ LLYOD รุ่น 30 KN (รูปที่ 8)
3. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์การซึมผ่านของไอน้ำ
4. ดิน และอุปกรณ์ในการศึกษาการย่อยสลายด้วยดิน
5. เอนไซม์เซลลูเลส จาก *Aspergillus niger* ของบริษัท SIGMA CHEMICAL CO. ค่าแอคทิวิตี้เท่ากับ 0.45 ยูนิต / มิลลิกรัมของแข็ง (1 ยูนิตจะปล่อย 1.0 ไมโครโมลของกลูโคสจากเซลลูโลส ในเวลา 1 ชม. ที่ พีเอช 5 อุณหภูมิ 37°ซ ระยะเวลาในการบ่ม 2 ชม.)
6. อุปกรณ์ในการศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

วิธีการ

1 คุณสมบัติทางกล

คุณสมบัติทางกล ทำการวัดค่าการต้านแรงดึง และค่าการยืดตัวเมื่อขาด ตามวิธีการของ ASTM (1996) โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (universal testing machine) กำหนดระยะห่างของที่จับเริ่มต้น (initial grip separation) เท่ากับ 40 มม. และความเร็วของการทดสอบ (test speed) เท่ากับ 100 มม./นาที โดยใช้ load cell 100 N. ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะตัดเป็นแถบหนา 10 มม. ทำการทดสอบตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ความหนา และความหนาแน่นผิวหน้า (Gennadios, *et al.*,1993)

ตัดตัวอย่างขนาด 5 ซม.x 5 ซม. โดยใช้ 4 ตัวอย่างต่อชนิดของฟิล์ม ทำการสุ่มวัดค่าความหนาโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์จำนวน 5 จุดคือจุดตรงกลาง 1 จุด และจุดโดยรอบอีก 4 จุด ส่วนความหนาแน่นผิวหน้าวัดโดยนำตัวอย่างฟิล์มขนาด 5 ซม.x 5 ซม. ไปชั่งน้ำหนัก (ชั่งละเอียดถึง 0.001 กรัม) นำน้ำหนักที่ได้หารด้วยพื้นที่ผิวของตัวอย่าง (25 ตารางเซนติเมตร) แสดงผลเป็นความหนาแน่นผิวหน้า (กรัม/ตารางเซนติเมตร)

การซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability)

การวัดการซึมผ่านของไอน้ำ ตามวิธีการของ Kester และ Fennema (1983) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ ASTM (1983) โดยใช้แผ่นฟิล์มที่ต้องการวัดการซึมผ่านของไอน้ำปิดผนึกเข้ากับถ้วยซึ่งบรรจุแคลเซียมคลอไรด์แห้ง (anhydrous calcium chloride) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0 (0 mm.Hg) โดยถ้วยจะวางในเดซิเคเตอร์ ซึ่งรักษาความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 97 (23 mm.Hg) ด้วยสารละลายอิ่มตัวของโปแตสเซียมซัลเฟต ดังนั้นความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ และแรงดันไอน้ำ (water vapor pressure) เท่ากับร้อยละ 97 และ 23 mm.Hg ตามลำดับ ฟิล์มแต่ละชนิดจะใช้ 4 ตัวอย่าง ค่าการซึมผ่านไอน้ำคำนวนจาก

$$WVP = C.\Delta X / A.\Delta P = (g).(mil.)/(m^2).(day).(mmHg.)$$

เมื่อ WVP = water vapor permeability

X = ความหนาของฟิล์ม

A = พื้นที่ของฟิล์ม

ΔP = ความแตกต่างของแรงดันไอน้ำทั้งสองด้านของฟิล์ม

ΔC = ความชันของเส้นกราฟระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการซึมผ่านของไอน้ำกับเวลา

3 ความสามารถในการย่อยสลายของฟิล์ม

3.1 การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส

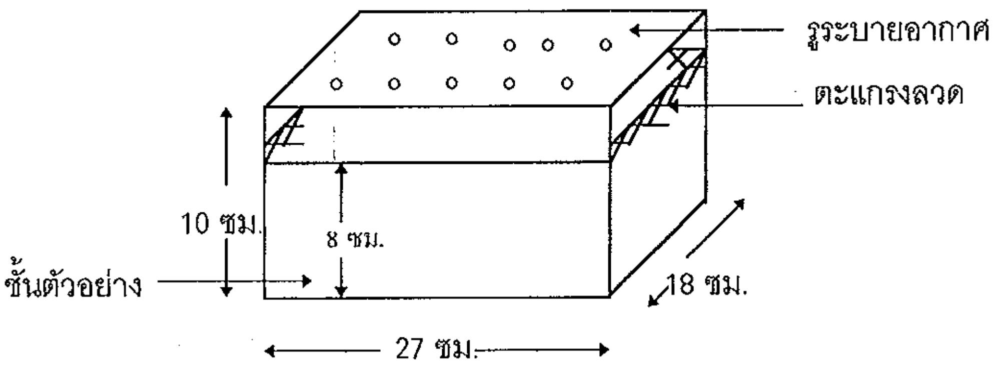
ศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ตามวิธีการของ Hosokawa และคณะ (1991) ดังนี้คือ

ใส่แผ่นฟิล์มขนาด 7 มม.x 7 มม. จำนวน 3 ชิ้นลงในหลอดทดสอบซึ่งบรรจุสารละลายของเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้นร้อยละ 0.08 ในบัฟเฟอร์ของกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (พีเอช 5.0) จำนวน 5 มล. (ใช้ฟิล์มที่คัดเลือกจากผลการศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์และกรดไขมัน และตัวอย่างฟิล์มจากการสังเคราะห์คือ พีวีซี 1 ชนิด ชนิดละ 3 ซ้ำ) ใส่ลูกแก้วประมาณ 0.3 กรัม (6 - 8 เม็ด)ลงในหลอดทดสอบ เก็บหลอดทดสอบไว้ที่อุณหภูมิห้อง เขย่าหลอดทดสอบทุกๆ 12 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 นาที การย่อยสลายวัดจากระยะเวลาเมื่อแผ่นฟิล์มถูกย่อยจนเป็นอนุภาคขนาดเล็กสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2 การศึกษาการย่อยสลายของฟิล์มโดยการฝังดิน

ศึกษาการย่อยสลายของฟิล์มโดยการฝังดิน ตามวิธีการของ Goheen และ Wool (1991) ดังนี้คือ

เตรียมดินโดยนำดินมากำจัดซากของต้นไม้ และพวกสัตว์ต่างๆที่อยู่ในดิน แล้วนำดินที่ได้ไปใส่ในกล่องพลาสติกขนาด 27 ซม.x 18 ซม. x 10 ซม. (รูปที่ 6) ซึ่งฝาบริเวณด้านบนเจาะรูไว้เพื่อระบายอากาศ ใส่ดินระดับความลึก 8 ซม. บริเวณด้านล่างและด้านข้างทั้งหมดจะวางตาข่ายเหล็ก เพื่อช่วยยกดินและเพิ่มการระบายอากาศ รักษาความชื้นของดินและอุณหภูมิให้เท่ากับความชื้นและอุณหภูมิโดยรอบโดยการฉีดน้ำ



รูปที่ 6 ภาพร่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการย่อยสลายของฟิล์มโดยการฝังดิน

วางแผ่นฟิล์มขนาด 3 ซม. x 3 ซม. ที่ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วฝังในดิน โดยเรียงเป็นแถว 3 x 7 แถว (ใช้ฟิล์มที่คัดเลือกจากผลการศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ และกรดไขมัน และตัวอย่างฟิล์มจากการสังเคราะห์คือ พีวีซี 1 ชนิด ชนิดละ 3 ซ้ำ) ฝังที่ระดับความลึก 5.5 ซม.

สุ่มตัวอย่างมาวัดน้ำหนักในวันที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 หลังจากนำตัวอย่างขึ้นจากดินแล้ว นำแผ่นฟิล์มมาล้างด้วยน้ำ ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50°ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนชั่งน้ำหนักทำการปรับสภาวะของแผ่นฟิล์มโดยวางแผ่นฟิล์มไว้ในเดซิเคเตอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้มาหาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำหนัก (weight ratio) โดยที่

$$\text{อัตราส่วนน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการย่อยสลาย (degraded weight)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (initial sample weight)}}$$

รูปที่ 7 ไมโครมิเตอร์ (Dial micrometer) สำหรับวัดความหนาของฟิล์ม

รูปที่ 8 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (universal testing machine)

4. การประยุกต์ใช้ฟิล์มเพื่อรักษาคุณภาพชิ้นปลาแช่เยือกแข็ง

วัสดุ อุปกรณ์

1. ปลาซาบะ (*Scomber scombrus*)
2. เครื่องทำความเย็น
3. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ทางเคมี
4. ตู้อบไมโครเวฟ ยี่ห้อ SHARP
5. ถาดโฟมบรรจุปลา

วิธีการ

การประยุกต์ใช้ฟิล์มจากไคโตแซน โดยการเคลือบชิ้นปลาด้วยสารละลายผสมของไคโตแซน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1 การเตรียมสารละลายผสมของไคโตแซน

เตรียมสารละลายผสมที่ให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำมาใช้สำหรับห่อหุ้มชิ้นอาหาร โดยเลือกจากผลการศึกษาผลของปริมาณไคโตแซน ปริมาณเมทิลเซลลูโลส และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์ม จากนั้นนำไปแช่เย็น ก่อนการนำไปใช้ในการเคลือบ

2 การเตรียมตัวอย่างชิ้นปลา

เตรียมตัวอย่างชิ้นปลาโดยนำปลาทั้งตัวมาตัดหัว ควักไส้ แล้วแล่เป็นชิ้น ล้างด้วยน้ำให้สะอาด สะเด็ดน้ำแล้วนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อรอการเคลือบฟิล์ม

3 การเคลือบตัวอย่างชิ้นปลา

นำตัวอย่างชิ้นปลาจากข้อ 2 มาเคลือบผิวโดยการจุ่มในสารละลายผสมจากข้อ 1 วางบนตะแกรงซึ่งรองด้วยถาด เพื่อให้สารละลายผสมที่เกินมาไหลลงสู่ถาด วางไว้ที่อุณหภูมิ -18°ซ จนกระทั่งสารเคลือบแข็งตัว จากนั้นนำไปบรรจุในถาดโฟมปิดด้วยฟิล์มพลาสติกพีวีซี นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°ซ สำหรับตัวอย่างชุดควบคุมไม่มีการเคลือบสารละลายผสม

4 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชิ้นปลา

สุ่มตัวอย่างชิ้นปลา ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18°ซ. มาทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ที่เวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน โดยทำการตรวจสอบคุณภาพดังนี้คือ

- การสูญเสียน้ำหนัก
- พีเอช โดยใช้พีเอชมิเตอร์
- ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 1990)
- ค่าทีวีบี (TVB) (Conway and Byrne, 1936)
- ค่าทีบีเอ (TBA) (Egan, *et al.*, 1981)
- คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำตัวอย่างใส่ในถ้วยแก้วขนาดเล็กแล้วทำให้สุกในตู้อบไมโครเวฟ ใช้ความร้อนระดับกลาง เป็นเวลา 3 นาที นำตัวอย่างมาทดสอบคุณภาพทางด้าน สี กลิ่นหืน ความเหนียว ความฉ่ำ และการยอมรับรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน ใช้การทดสอบแบบพรรณเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis : QDA) (Stone, *et al.*, 1974)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. การผลิตไคโตแซนและคุณสมบัติของไคโตแซน

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำที่ผลิตได้จากการทดลองครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 11 ไคโตแซนมีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.77 ซึ่งใกล้เคียงกับไคโตแซนจากการศึกษาของ Benjakul และ Sophanodora (1993) ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.02 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากการกำจัดแร่ธาตุที่ใช้เวลานานถึง 24 ชั่วโมง Rutherford และ Austin (1978) รายงานว่าค่าไนโตรเจนของไคตินตามทฤษฎีมีค่าร้อยละ 6.9 ส่วนไคโตแซน (ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคติน) จากการทดลองครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าไคตินตามทฤษฎี เนื่องจากกระบวนการกำจัดหมู่อะซิติล (deacetylation) ซึ่งหมู่อะซิตาไมด์ (acetamide group : $NHCOCH_3$) ในไคตินจะถูกแทนที่ด้วยหมู่เอมีน (amine group : NH_2) ในไคโตแซน เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของไคโตแซนในทางการค้า (ตารางที่ 11) ไคโตแซนที่ผลิตจากการทดลองครั้งนี้ มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดทางการค้าคือ ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2 - 10 เถ้าน้อยกว่าร้อยละ 1 ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 7.0 - 8.4 ความหนืดอยู่ในช่วง 20 ถึงมากกว่า 1,000 เซนติพอยส์

ค่าความหนืดของไคโตแซนที่ผลิตได้เท่ากับ 521 เซนติพอยส์ ซึ่งระดับความหนืดอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง เมื่อเทียบกับไคโตแซนจากการทดลองของ Filar และ Wirick (1978) ซึ่งแบ่งระดับความหนืด (viscosity grade) ออกเป็น สูง กลาง ต่ำ โดยมีค่าความหนืดเท่ากับ 2,780 180 และ 50 เซนติพอยส์ ตามลำดับ ขั้นตอนในการผลิตไคโตแซนที่มีผลต่อค่าความหนืดของไคโตแซนคือ การกำจัดแร่ธาตุ การฟอกสี และที่สำคัญคือการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซน (Moorjani, *et al.*, 1978) ผลของการกำจัดแร่ธาตุต่อความหนืดของไคโตแซนจากการศึกษาของ Madhavan และ Ramachandrannair (1974) พบว่าเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นมากกว่า 1.25 โมลาร์ มีผลทำให้ความหนืดของไคโตแซนลดลง นอกจากนั้น เมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมากกว่า 1.25 โมลาร์ และระยะเวลาในการกำจัดแร่ธาตุเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าความหนืดของไคโตแซนลดลงเช่นกัน

ที่ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ เมื่อระยะเวลาในการกำจัดแร่ธาตุเพิ่มขึ้นไม่ทำให้ความหนืดของไคโตแซนลดลง โดยระยะเวลาในการกำจัดแร่ธาตุสูงสุดคือ 3 ชั่วโมง ค่าความหนืดของไคโตแซนที่ได้เท่ากับ 18.45 เซนติพอยส์ การกำจัดแร่ธาตุของไคโตแซนจากการทดลองครั้งนี้ใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไคโตแซนที่ได้มีค่าความหนืดสูงกว่าคือเท่ากับ 521 เซนติพอยส์ ซึ่งอาจเนื่องจากผลของปัจจัยอื่นๆ เช่น ชนิดของวัตถุดิบ และสภาวะในการกำจัดหมู่อะซิติล ผลของการฟอกสีต่อค่าความหนืดของไคโตแซนจากการศึกษาของ Moorjani และคณะ (1975) พบว่าการผลิตไคโตแซนที่ไม่ฟอกสี ฟอกสีหลังกำจัดแร่ธาตุ ฟอกสีหลังกำจัดโปรตีน และฟอกสีหลังกำจัดหมู่อะซิติล ไคโตแซนที่ได้มีค่าความหนืดเท่ากับ 2.0230 1.3560 0.8790 และ 0.0121 พอยส์ตามลำดับ ส่วนผลของการกำจัดหมู่อะซิติลต่อค่าความหนืดของไคโตแซนนั้น เมื่อระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง (Muzzarelli, 1977)

คุณสมบัติที่สำคัญของไคโตแซนที่สัมพันธ์กับการเกิดฟิล์ม คือระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (degree of deacetylation) ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลสูงสามารถละลายในกรดอินทรีย์เจือจางได้ง่ายเนื่องจากมีหมู่อะมิโนอิสระที่สามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น ทำให้ฟิล์มที่ได้มีค่าการต้านแรงดึงที่สูง (Mima, *et al.,* 1983) แต่อย่างไรก็ดีการกำจัดหมู่อะซิติลที่มากเกินไป อาจมีผลทำให้โพลิเมอร์ที่ได้มีสายของโพลิเมอร์ที่สั้น (Averbach, 1978) ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลต่ำเมื่อนำไปละลายในกรดอะซิติกเจือจาง ยังคงมีส่วนที่ไม่สามารถละลายได้หลงเหลืออยู่ ไคโตแซนที่ผลิตได้จากการทดลองครั้งนี้มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลร้อยละ 96.63 นับว่ามีค่าค่อนข้างสูง เมื่อนำไปละลายในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 จึงสามารถละลายได้หมด ลักษณะของไคติน ไคโตแซน และสารละลายไคโตแซน ดังแสดงในรูปที่ 9

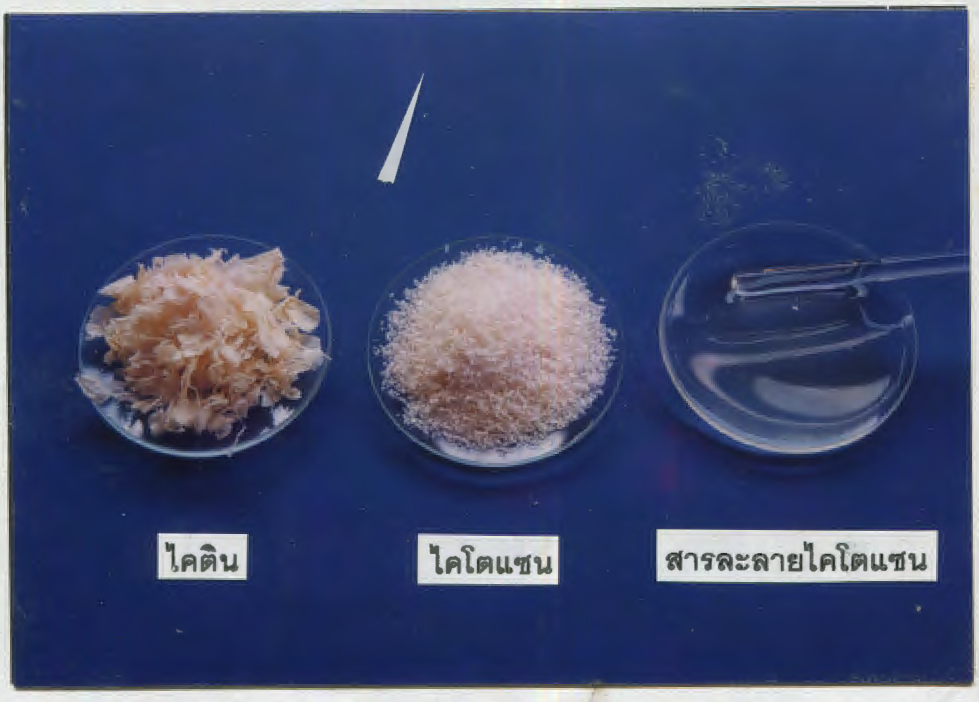
ตารางที่ 11 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไคโตแซน

คุณสมบัติ	การทดลอง	คุณสมบัติของไคโตแซนทางการค้า		
		Pariser[2]	อังกฤษ[3]	ฝรั่งเศส[3]
ความชื้น (ร้อยละ)	5.77 ± 0.13	2 - 10	≤ 10	< 9
เถ้า (ร้อยละ)	0.02 ± 0.00	< 1	≤ 1	< 1
ไนโตรเจน (ร้อยละ นน.แห้ง)	7.28 ± 0.09	7.0 - 8.4	-	-
ความหนืด (เซนติพอยส์)	521 ± 7.24[1]	200 - 3000	20 to >1000	<50 to >500
การกำจัดหมู่อะซิติล(ร้อยละ)	97.20	40	80 - 90	> 90

[1] ความหนืดวัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscosmeter รุ่น RVDV - II $^{+}$) ความเร็ว 60 rpm.หัวเข็มเบอร์ 2 ใช้สารละลายไคโตแซนร้อยละ 1 ละลายในกรดอะซิติกร้อยละ 1

[2] Pariser (ติดต่อส่วนตัว)

[3] Chandrkrachang (1996)



รูปที่ 9 ไคติน ไคโตแซน และสารละลายไคโตแซน

2. ผลของปริมาณไคโตแซนต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

ฟิล์มไคโตแซนที่ผลิตได้จากการทดลอง มีลักษณะใส สีเหลืองเล็กน้อย โดยเมื่อฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น สีของฟิล์มจะเข้มขึ้น ฟิล์มมีลักษณะเหนียวยากแก่การฉีกขาด มีความยืดหยุ่นระดับหนึ่ง เมื่อนำไปแช่น้ำจะมีลักษณะเหนียวคล้ายยาง

ผลของปริมาณไคโตแซนต่อคุณสมบัติของฟิล์ม (ตารางที่12) พบว่าเมื่อปริมาณของไคโตแซนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความหนา และความหนาแน่นผิวหน้าเพิ่มขึ้น ค่าการต้านแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเล็กน้อย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของไคโตแซนเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 1 ที่ความเข้มข้นของไคโตแซนมากกว่าร้อยละ 1 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความหนาแน่นผิวหน้า ความหนาและค่าการต้านแรงดึงของแผ่นฟิล์ม จะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 และ 0.99 ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แสดงว่าค่าความหนาแน่นผิวหน้าและค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นเมื่อฟิล์มมีค่าความหนาเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจากไคโตแซนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อฟิล์มมีค่าความหนาเพิ่มขึ้นเช่นกัน ($R^2 = 0.73$) เนื่องจากคุณสมบัติชอบน้ำของฟิล์มชนิดนี้ (Schwartzberg, 1986) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าขั้นตอนการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP process) จะไม่เป็นไปในลักษณะของการแพร่ผ่าน (bulk diffusion) แต่จะเป็นไปในลักษณะของการทำปฏิกิริยาที่บริเวณผิวหน้า (interfacial reaction) (Butler, *et al.*,1996)

จากการทดลองพบว่า ฟิล์มไคโตแซนที่มีปริมาณของไคโตแซนมากกว่าหรือน้อยกว่าร้อยละ 1 มีลักษณะอ่อนหรือแข็งเกินไปสำหรับการนำไปใช้ในการห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเลือกฟิล์มไคโตแซนที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 12 ผลของปริมาณไคโตแซนต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

ปริมาณไคโตแซน (ร้อยละ)	ความหนา# (mm.)	ความหนาแน่นผิวหน้า (g/cm^2)	ค่าการต้านแรงดึง✡ (kN/m)	ค่าการยืดตัวเมื่อขาด✡ (mm.)	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ# (g.mm./m^2.day.mmHg.)
0.50	0.015	1.72×10^{-3}	$0.72 \pm 0.11^{a*}$	3.04 ± 1.55^{a}	0.41 ± 0.04^{a}
0.75	0.021	2.77×10^{-3}	1.38 ± 0.25^{b}	3.51 ± 1.54^{a}	0.49 ± 0.07^{ab}
1.00	0.028	3.19×10^{-3}	2.27 ± 0.14^{c}	4.56 ± 2.00^{a}	0.64 ± 0.05^{c}
1.25	0.034	4.18×10^{-3}	2.77 ± 0.44^{d}	4.03 ± 3.12^{a}	0.62 ± 0.06^{c}
1.50	0.042	5.13×10^{-3}	3.68 ± 0.44^{e}	5.28 ± 1.52^{a}	0.59 ± 0.07^{bc}

ค่าเฉลี่ย, ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

✡ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

* อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3. ผลของปริมาณอนุพันธ์เซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

ฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและอนุพันธ์ของเซลลูโลส 2 ชนิดคือ เมททิลเซลลูโลส (MC) และไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลส (HPMC) เตรียมโดยใช้ปริมาณความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 80 (น้ำหนักอนุพันธ์เซลลูโลส / น้ำหนักไคโตแซน) ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตได้ (ตารางที่ 13 - 14) มีดังนี้คือ

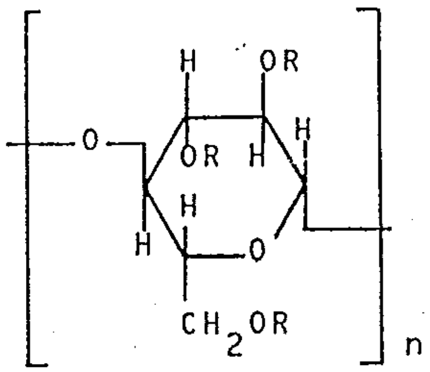
ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและอนุพันธ์ของเซลลูโลสทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสเพิ่มขึ้น และพบว่ามีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 10 แต่เมื่อเทียบกับฟิล์มจากไคโตแซนเพียงอย่างเดียว ฟิล์มผสมที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 10 มีค่าการต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น อาจเกิดเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกันระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสและไคโตแซน มีผลทำให้เกิดการเชื่อมไขว้กันมากขึ้น (Hosokawa, *et al.*, 1991) แต่เมื่อความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสมากยิ่งขึ้น ฟิล์มมีค่าการต้านแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งอาจเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 10 ไม่สามารถเกิดการเชื่อมไข้วได้มากกว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 แสดงว่าปริมาณอนุพันธ์เซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นไม่ช่วยให้เกิดการเชื่อมไข้วกับไคโตแซน แต่จะแยกกับสายโพลีเมอร์ของไคโตแซน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความขุ่นเพิ่มขึ้น ลักษณะการไม่รวมตัวกันของสายโพลีเมอร์ของไคโตแซนและอนุพันธ์เซลลูโลสอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ฟิล์มขุ่น และการไม่เกิดการเชื่อมไข้วกันเมื่อปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสเพิ่มขึ้น นอกจากจะไม่เพิ่มความแข็งแรง (ค่าการต้านแรงดึง) ยังอาจไปขัดขวางการจับกันของสายโพลีเมอร์ทั้งสอง ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มจึงลดลง

ไคโตแซนมีหมู่เอมีนที่สามารถเกิดการเชื่อมไข้วกับประจุลบของสารประกอบอื่นๆ ในขณะที่เซลลูโลสเป็นตัวที่ช่วยส่งเสริมให้ไคโตแซนมีความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้น (Hasegawa, *et al.*, 1992) จากการศึกษาของ Hosokawa และคณะ (1991) พบว่าในการเกิดการเชื่อมไข้วกันของเซลลูโลสและไคโตแซน หมู่คาร์บอนิลปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดการเชื่อมไข้ว

เมททิลเซลลูโลส (MC) ประกอบด้วยหมู่เมททอกซิล (methoxyl group, $-OCH_3$) ร้อยละ 25 - 33 ส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลส (HPMC) ประกอบด้วยหมู่เมททอกซิล

ร้อยละ 19 - 30 และหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล (hydroxypropyl group, $-OCH_2CHOHCH_3$) ร้อยละ 3 - 12 (JECFA, 1993) สูตรโครงสร้างของ MC และ HPMC แสดงดังรูปที่ 10 หมู่เมททอกซิลอาจเป็นตัวสำคัญในการเกิดการเชื่อมไข้วกับไคโตแซน ที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสต่ำ ฟิล์มผสมระหว่าง MC และไคโตแซนให้ค่าการต้านแรงดึงที่สูงกว่าฟิล์มผสมระหว่าง HPMC กับไคโตแซน แต่เมื่อปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 40 ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มผสม HPMC และไคโตแซนสูงกว่าฟิล์มผสมระหว่าง MC และไคโตแซน ซึ่งอาจเนื่องจากปริมาณของหมู่เมททอกซิลใน MC มีมากเกินพอ ซึ่งไม่มีผลต่อการเกิดการเชื่อมไข้ว แต่เมททอกซิลใน HPMC ที่มากขึ้นนี้อยู่ในระดับที่ทำให้ค่าการต้านแรงดึงสูงขึ้นมากกว่าค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มผสมระหว่าง MC และไคโตแซน

สำหรับค่าการยืดตัวเมื่อขาด พบว่าเมื่อปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสเพิ่มขึ้น ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มผสมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ฟิล์มมีลักษณะที่เปราะเพิ่มขึ้น ฟิล์มผสมระหว่าง HPMC และไคโตแซน มีค่าการยืดตัวเมื่อขาดสูงกว่าฟิล์มผสมระหว่าง MC และไคโตแซน แสดงว่าฟิล์มผสมระหว่าง HPMCและไคโตแซนมีความยืดหยุ่นสูงกว่าฟิล์มผสมระหว่าง MC และไคโตแซน แต่มีความยืดหยุ่นต่ำกว่าฟิล์มไคโตแซนที่ไม่ผสมอนุพันธ์เซลลูโลส



รูปที่ 10 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ MC และ HPMC

MC : R = H หรือ CH_3

HPMC : R = H หรือ CH_3 หรือ $CH_2CHOHCH_3$

ที่มา : JECFA (1993)

ตารางที่ 13 ผลของปริมาณเมททิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์มผสม

ปริมาณ MC (ร้อยละ)	ความหนา# (mm.)	ความหนาแน่นผิวหน้า (g/cm^2)	ค่าการต้านแรงดึง✡ (kN/m)	ค่าการยืดตัวเมื่อขาด✡ (mm.)	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ# (g.mm./m^2.day.mmHg.)
0	0.028	3.19×10^{-3}	$2.27 \pm 0.14^{bc*}$	4.56 ± 2.00^{a}	0.29 ± 0.02^{c}
10	0.028	3.79×10^{-3}	3.05 ± 0.26^{e}	2.16 ± 0.52^{b}	0.18 ± 0.01^{a}
20	0.028	3.65×10^{-3}	2.79 ± 0.48^{de}	1.57 ± 0.29^{bc}	0.19 ± 0.02^{ab}
40	0.028	3.37×10^{-3}	2.53 ± 0.29^{cd}	1.57 ± 0.18^{bc}	0.21 ± 0.01^{b}
60	0.027	3.20×10^{-3}	1.99 ± 0.24^{b}	1.57 ± 0.42^{bc}	0.21 ± 0.02^{b}
80	0.027	3.26×10^{-3}	1.59 ± 0.22^{a}	1.01 ± 0.15^{c}	0.27 ± 0.01^{c}

ค่าเฉลี่ย, ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

✡ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

* อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 14 ผลของปริมาณไฮดรอกซี่โพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของฟิล์มผสม

ปริมาณ HPMC (ร้อยละ)	ความหนา# (mm.)	ความหนาแน่นผิวหน้า (g/cm^2)	ค่าการต้านแรงดึง✡ (kN/m)	ค่าการยืดตัวเมื่อขาด✡ (mm.)	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ# ($g.mm./m^2.day.mmHg.$)
0	0.028	3.19×10^{-3}	$2.27 \pm 0.14^{cd*}$	4.56 ± 2.00^{b}	0.29 ± 0.02^{c}
10	0.026	3.24×10^{-3}	2.79 ± 0.15^{a}	2.35 ± 0.92^{a}	0.16 ± 0.02^{a}
20	0.028	3.40×10^{-3}	2.65 ± 0.23^{ab}	3.20 ± 1.19^{ab}	0.17 ± 0.02^{a}
40	0.029	3.20×10^{-3}	2.55 ± 0.17^{b}	3.62 ± 1.60^{ab}	0.26 ± 0.01^{bc}
60	0.030	3.52×10^{-3}	2.47 ± 0.12^{bc}	2.54 ± 0.71^{a}	0.27 ± 0.03^{bc}
80	0.029	3.49×10^{-3}	2.16 ± 0.30^{d}	2.31 ± 1.00^{a}	0.24 ± 0.02^{b}

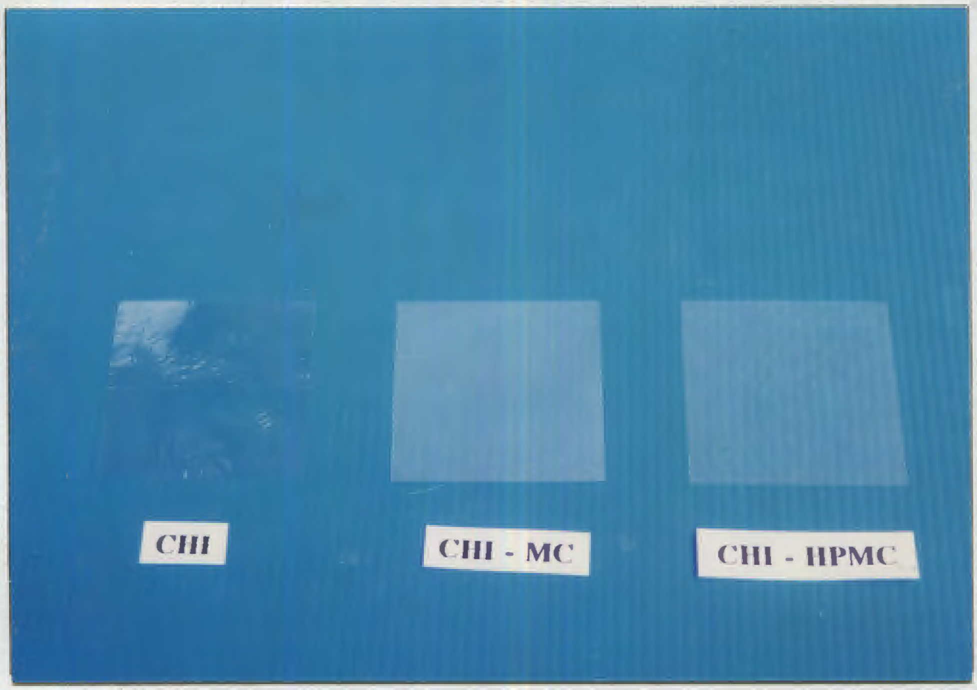
ค่าเฉลี่ย, ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

✡ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

* อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

นอกจากนั้นปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสยังมีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม โดยค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับฟิล์มไคโตแซนเพียงอย่างเดียว และมีค่าต่ำสุดที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 10 เมื่อเพิ่มปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสในฟิล์มผสมมีผลทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องจากคุณสมบัติชอบน้ำของอนุพันธ์เซลลูโลส ที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสต่ำกว่าร้อยละ 20 ฟิล์มไคโตแซนผสม MC มีค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มใกล้เคียงกับฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC และเมื่อปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 20 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC จะมีค่าสูงกว่าฟิล์มไคโตแซนผสม MC อาจเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซี่โพรพิลของฟิล์มผสมระหว่าง HPMC และไคโตแซน มีคุณสมบัติชอบน้ำสูงกว่าฟิล์มผสมระหว่าง MC และไคโตแซน (Park, *et al.*, 1993) แต่ในช่วงความเข้มข้นต่ำ การซึมผ่านไอน้ำยังไม่สูงมากนัก เนื่องจากปริมาณอนุพันธ์เซลลูโลสมีปริมาณเพียงเล็กน้อย และ HPMC มีหมู่ไฮดรอกซี่โพรพิลอยู่เพียงร้อยละ 3 - 12 เมื่อปริมาณ HPMC มีน้อย ปริมาณของหมู่ไฮดรอกซี่โพรพิลก็น้อยไปด้วย

เมื่อพิจารณาค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มจะมีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 10 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มผสมที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 20 และค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มผสมที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 10 และ 20 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนั้นจากการศึกษาเบื้องต้นยังพบว่าเมื่อปริมาณของอนุพันธ์เซลลูโลสเพิ่มขึ้น ความสามารถในการย่อยสลายของฟิล์มจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 20 จึงถูกเลือกสำหรับการศึกษาต่อไป ลักษณะของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสมแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ฟิล์มจากไคโตแซน (CHI) ฟิล์มจากไคโตแซนผสมเมทิลเซลลูโลส (MC) และฟิล์มจากไคโตแซนผสมไฮดรอกซี่โพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC)

4. ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม

ผลของพลาสติไซเซอร์ 2 ชนิดคือกลีเซอรอลและซอร์บิทอล ต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่คัดเลือกแล้ว 3 ชนิดคือ ฟิล์มไคโตแซนร้อยละ1 (CH) ฟิล์มไคโตแซนผสม MC ร้อยละ 20 (CH-MC) และฟิล์มไคโตแซน ผสม HPMC ร้อยละ 20 (CH-HPMC) พบว่าฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีค่าการต้านแรงดึงลดลง ค่าการยืดตัวเมื่อขาดและค่าการซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องจากผลของพลาสติไซเซอร์ที่ไปลดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มช่องว่างระหว่างโมเลกุล ดังนั้นจึงทำให้ฟิล์มมีความกรอบลดลง เพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มการซึมผ่านของฟิล์ม (Lieberman and Gilbert, 1973)

ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 15) โดยเมื่อใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่ำสุดร้อยละ 60 สำหรับฟิล์มไคโตแซน ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดร้อยละ 30 สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม MC และที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดร้อยละ 15 สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC ส่วนซอร์บิทอลแสดงผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มน้อยกว่ากลีเซอรอล โดยการเติมซอร์บิทอลในฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มไคโตแซนผสม MC ที่ระดับต่างๆ มีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำน้อยมาก ส่วนฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC การเติมซอร์บิทอลที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดร้อยละ 45 ทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเกี่ยวข้องกันระหว่างชนิดของฟิล์ม (F) และชนิดของพลาสติไซเซอร์ (P) ปรากฏว่า ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มชนิดต่างๆไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละชนิดของพลาสติไซเซอร์ (ตารางผนวกที่ ข4)

ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม พบว่าพลาสติไซเซอร์ที่ความเข้มข้นระดับเดียวกัน ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูงกว่า เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายของสาร (Banker, 1966) น้ำหนักโมเลกุลของกลีเซอรอลมีค่า 92.10 ส่วนซอร์บิทอลมีค่า 182.17 (JECFA, 1993) จึงทำให้กลีเซอรอลสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าซอร์บิทอล มีผลให้ฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลมีค่าการซึมผ่านไอน้ำที่สูงกว่า

ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสมมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 16) โดยเมื่อใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่ำสุดร้อยละ 15 และเมื่อใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ค่าการต้านแรงดึงจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของซอร์บิทอลต่ำสุดร้อยละ 30 สำหรับฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มไคโตแซนผสม MC และที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดร้อยละ 15 สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเกี่ยวข้องกันระหว่างชนิดของฟิล์ม (F) และชนิดของพลาสติไซเซอร์ (P) ปรากฏว่า ค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มชนิดต่างๆแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในแต่ละชนิดของพลาสติไซเซอร์ (ตารางผนวกที่ ข5)

ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 17) โดยเมื่อใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่ำสุดร้อยละ 15 และเมื่อใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ค่าการยืดตัวเมื่อขาดจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของซอร์บิทอลต่ำสุดร้อยละ 45 สำหรับฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มไคโตแซนผสม MC และที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดร้อยละ 30 สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเกี่ยวข้องกันระหว่างชนิดของฟิล์ม (F) และชนิดของพลาสติไซเซอร์ (P) ปรากฏว่าค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มชนิดต่างๆแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในแต่ละชนิดของพลาสติไซเซอร์ (ตารางผนวกที่ ข6)

การเติมพลาสติไซเซอร์มีจุดประสงค์เพื่อลดความกรอบของฟิล์ม และเพิ่มความยืดหยุ่น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิดพบว่ากลีเซอรอลช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากกว่าซอร์บิทอล และที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอร์รอลสูงสุดคือร้อยละ 60 ฟิล์มไคโตแซนมีค่าความยืดหยุ่นสูงสุด ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซน > ฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC > ฟิล์มไคโตแซนผสม MC โดยพบว่ามีค่าเท่ากับ 24.804 23.572 และ 19.059 มม. ตามลำดับ

การทดลองครั้งนี้จึงเลือกฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 60 เพื่อศึกษาการย่อยสลายต่อไป เนื่องจากเป็นระดับที่ให้การยืดหยุ่นของฟิล์มสูงสุด และเป็นระดับสูงสุดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ การเลือกระดับสูงสุดเพื่อให้ผลเนื่องจากพลาสติไซเซอร์มีสูงสุด

ตารางที่ 15 ผลของพลาสติไซเซอร์ ต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม

ปริมาณพลาสติไซเซอร์	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ# (g.mm./m^2.day.mmHg.)		
(ร้อยละ)	CH	CH-MC	CH-HPMC
กลีเซอรอล			
0	0.44 ± 0.11[b*]	0.44 ± 0.12[b]	0.43 ± 0.13[b]
15	0.47 ±0.01[b]	0.57 ± 0.16[ab]	0.66 ± 0.17[a]
30	0.56 ±0.12[ab]	0.71 ± 0.14[a]	0.76 ± 0.14[a]
45	0.65 ±0.13[ab]	0.72 ± 0.13[a]	0.79 ± 0.15[a]
60	0.75 ±0.11[a]	0.76 ± 0.1[a]	0.80 ± 0.08[a]
ซอร์บิทอล			
0	0.43 ± 0.11[a]	0.44 ± 0.12[a]	0.43 ± 0.13[b]
15	0.47 ± 0.07[a]	0.42 ± 0.10[a]	0.50 ± 0.10[ab]
30	0.48 ± 0.06[a]	0.42 ± 0.11[a]	0.62 ± 0.10[ab]
45	0.52 ± 0.10[a]	0.49 ± 0.10[a]	0.70 ± 0.17[a]
60	0.54 ± 0.10[a]	0.614 ± 0.15[a]	0.71 ± 0.17[a]

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

* อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ของพลาสติไซเซอร์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 16 ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม

ปริมาณพลาสติไซเซอร์ (ร้อยละ)	ค่าการต้านแรงดึง# (kN / m)		
	CH	CH-MC	CH-HPMC
กลีเซอรอล			
0	2.41 ± 0.17 [a*]	2.50 ± 0.24[a]	2.72 ± 0.22[a]
15	2.03 ± 0.18[b]	1.57 ± 0.17[b]	1.67 ± 0.28[b]
30	1.61 ± 0.16[c]	1.38 ± 0.10[b]	1.25 ± 0.27[c]
45	1.34 ± 0.13[d]	0.93 ± 0.13[c]	1.24 ± 0.10[c]
60	1.10 ± 0.15[e]	0.73 ± 0.08[d]	1.09 ± 0.20[c]
ซอร์บิทอล			
0	2.41 ± 0.17[a]	2.50 ± 0.24[a]	2.72 ± 0.22[a]
15	2.58 ± 0.15[a]	2.66 ± 0.55[a]	2.10 ± 0.34[b]
30	1.88 ± 0.28[b]	1.82 ± 0.40[b]	1.48 ± 0.14[c]
45	1.60 ± 0.23[c]	1.20 ± 0.09[c]	1.44 ± 0.14[c]
60	1.49 ± 0.18[c]	1.18 ± 0.11[c]	1.41 ± 0.18[c]

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

* อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ของพลาสติไซเซอร์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 17 ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม

ปริมาณพลาสติไซเซอร์ (ร้อยละ)	ค่าการยืดตัวเมื่อขาด# (mm.)		
	CH	CH-MC	CH-HPMC
กลีเซอรอล			
0	6.00 ± 2.57[d*]	2.26 ± 0.51[c]	2.53 ± 1.36[d]
15	12.98 ± 1.13[c]	7.82 ± 4.17[b]	10.13 ± 3.68[c]
30	17.71 ± 1.65[b]	18.36 ± 1.45[a]	13.75 ± 3.97[b]
45	18.69 ± 1.91[b]	18.72 ± 2.04[a]	21.47 ± 2.77[a]
60	24.80 ± 1.73[a]	19.06± 1.87[a]	23.57 ± 2.83[a]
ซอร์บิทอล			
0	6.00 ± 2.57[b]	2.26 ± 0.52[c]	2.53 ± 1.36[d]
15	2.17 ± 1.12[c]	1.60 ± 0.61[c]	1.67 ± 0.43[d]
30	5.05 ± 2.59[b]	1.84 ± 0.61[c]	9.07 ± 4.59[c]
45	11.64 ± 3.12[a]	9.94 ± 3.27[b]	11.47 ± 2.77[b]
60	12.65 ± 0.70[a]	13.31 ± 1.80[a]	16.48 ± 3.32[a]

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

* อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ของพลาสติไซเซอร์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

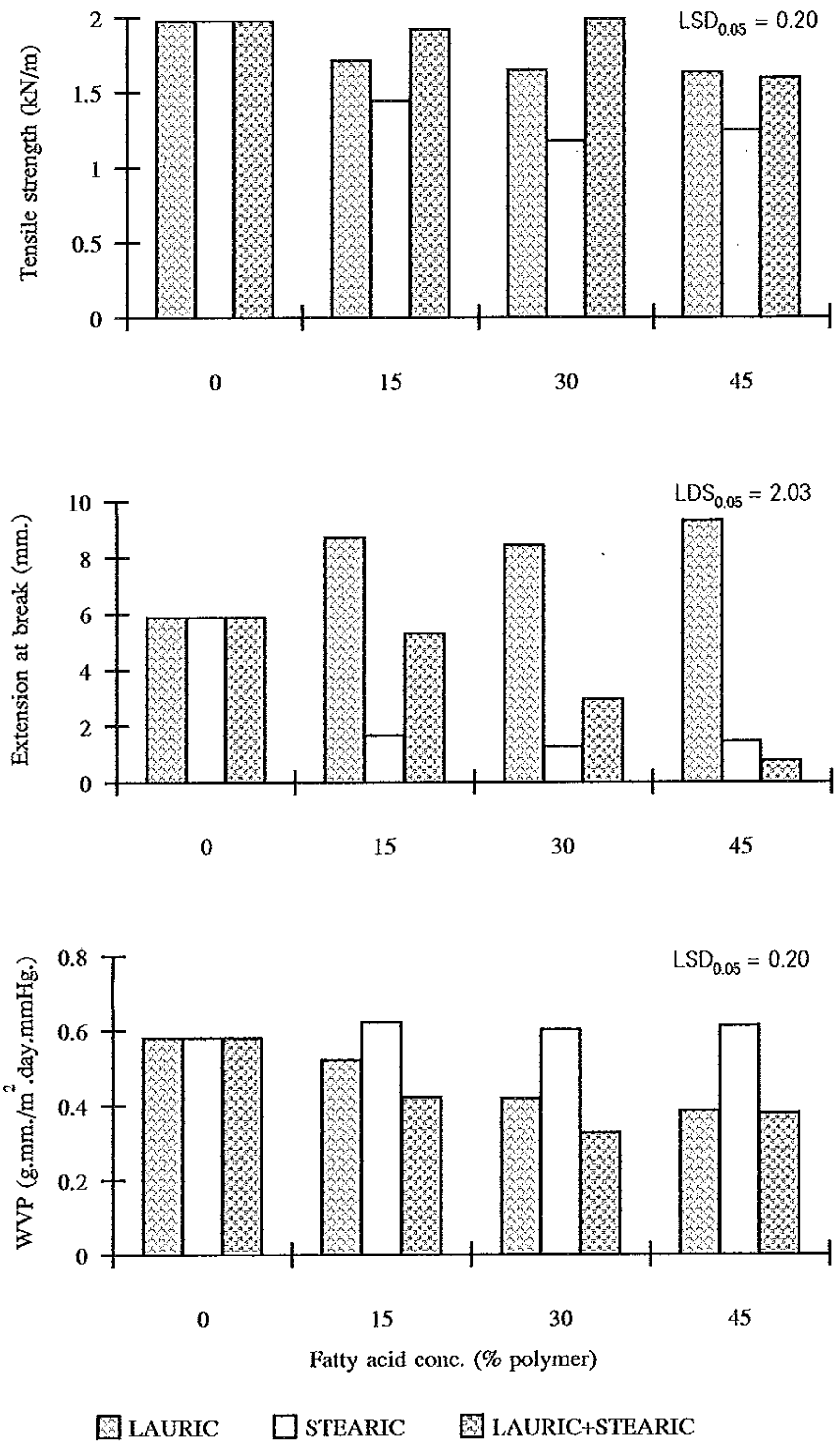
5. ผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม

มีการใช้กรดไขมันและไขมันชนิดอื่นๆเป็นตัวห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ต่างๆมานานแล้ว เนื่องจากความเป็นขั้วที่ต่ำของกรดไขมันสามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้น (Kester and Fennema, 1986) การศึกษาผลของกรดลอริกและกรดสเตียริก ต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและอนุพันธ์เซลลูโลส (รูปที่ 12 - 14) พบว่าค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มลดลงเมื่อเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซนที่เติมกรดลอริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อความเข้มข้นของกรดลอริกเพิ่มขึ้น ส่วนกรดสเตียริกพบว่าให้ผลในทางตรงกันข้าม จึงอาจกล่าวได้ว่ากรดลอริกสามารถปรับปรุงความยืดหยุ่นของฟิล์มไคโตแซนได้ด้วย ในขณะที่ฟิล์มไคโตแซนผสม MC และ HPMC แสดงผลเพียงเล็กน้อย

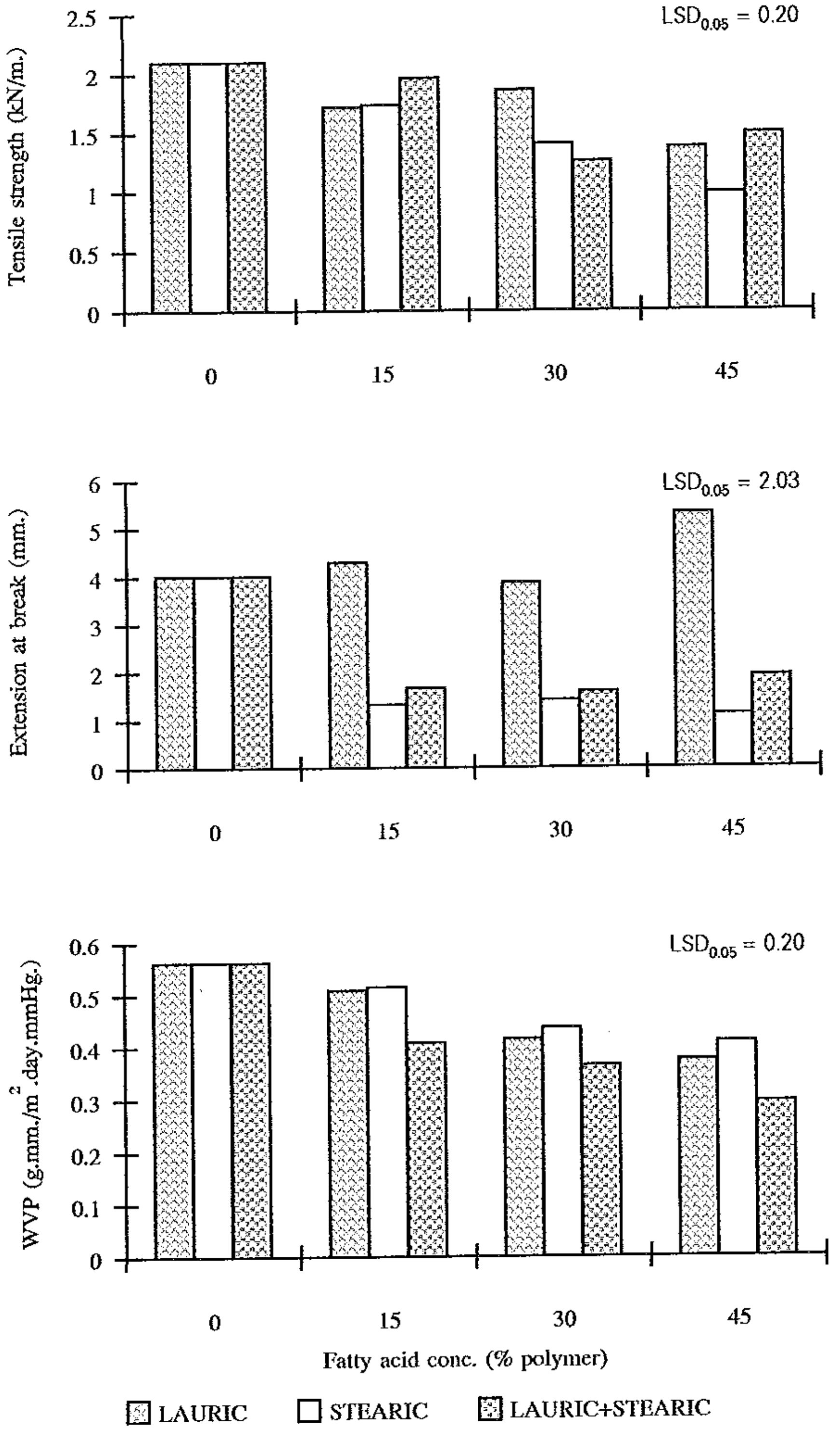
แม้ว่าฟิล์มจากไคโตแซนซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง มีแนวโน้มในการป้องกันการซึมผ่านของกาซออกซิเจนได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ต่ำ การเติมกรดไขมันจึงคาดว่าน่าจะช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองครั้งนี้ พบว่ากรดไขมันมีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มค่อนข้างน้อย โดยเมื่อปริมาณของกรดไขมันเพิ่มขึ้นค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยและมีแนวโน้มลดลง กรดลอริก (จุดหลอมตัว 44.2°ซ) ช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มได้ดีกว่ากรดสเตียริก (จุดหลอมตัว 69.6°ซ) จากการศึกษาของ McHugh และ Krochta (1994 b) พบว่าเมื่อค่าจุดหลอมตัวของกรดไขมันเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลง เนื่องจากกรดไขมันที่มีจุดหลอมตัวสูงขึ้น อาจเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น จึงลดประสิทธิภาพในการละลายของฟิล์ม ในการทดลองครั้งนี้การที่กรดลอริกช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มได้ดีกว่ากรดสเตียริก คาดว่าอาจเนื่องมาจากกรดลอริกอยู่ในรูปผลึกที่เป็นแนวเส้นตรงเข้ากันได้กับโครงสร้างของไคโตแซน ในขณะที่กรดสเตียริกอาจเข้ากันไม่ได้กับโครงสร้างของไคโตแซน (Wong, *et al.*, 1992) รูปแบบการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของฟิล์มจากคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า โมเลกุลของไคโตแซนอยู่ในรูปแบนราบ และกลายเป็นเกลียวเมื่อจับกับกรดไขมัน ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุลกรดไขมันจะเกาะอยู่ที่ตรงกลางของเกลียวนี้ และปิดช่องว่างที่จะทำให้โมเลกุลของน้ำผ่านได้ (Pennisi, 1992) บาง

ส่วนของกรดลอริกสามารถเข้ากันได้ดีกับไคโตแซนในขณะที่กรดสเตียริกจะออกห่าง ทำให้เกิดที่ว่างระหว่างเกลียวของไคโตแซน ฟิล์มที่ได้จึงมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ผลต่อมาคือทำให้ฟิล์มมีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้น

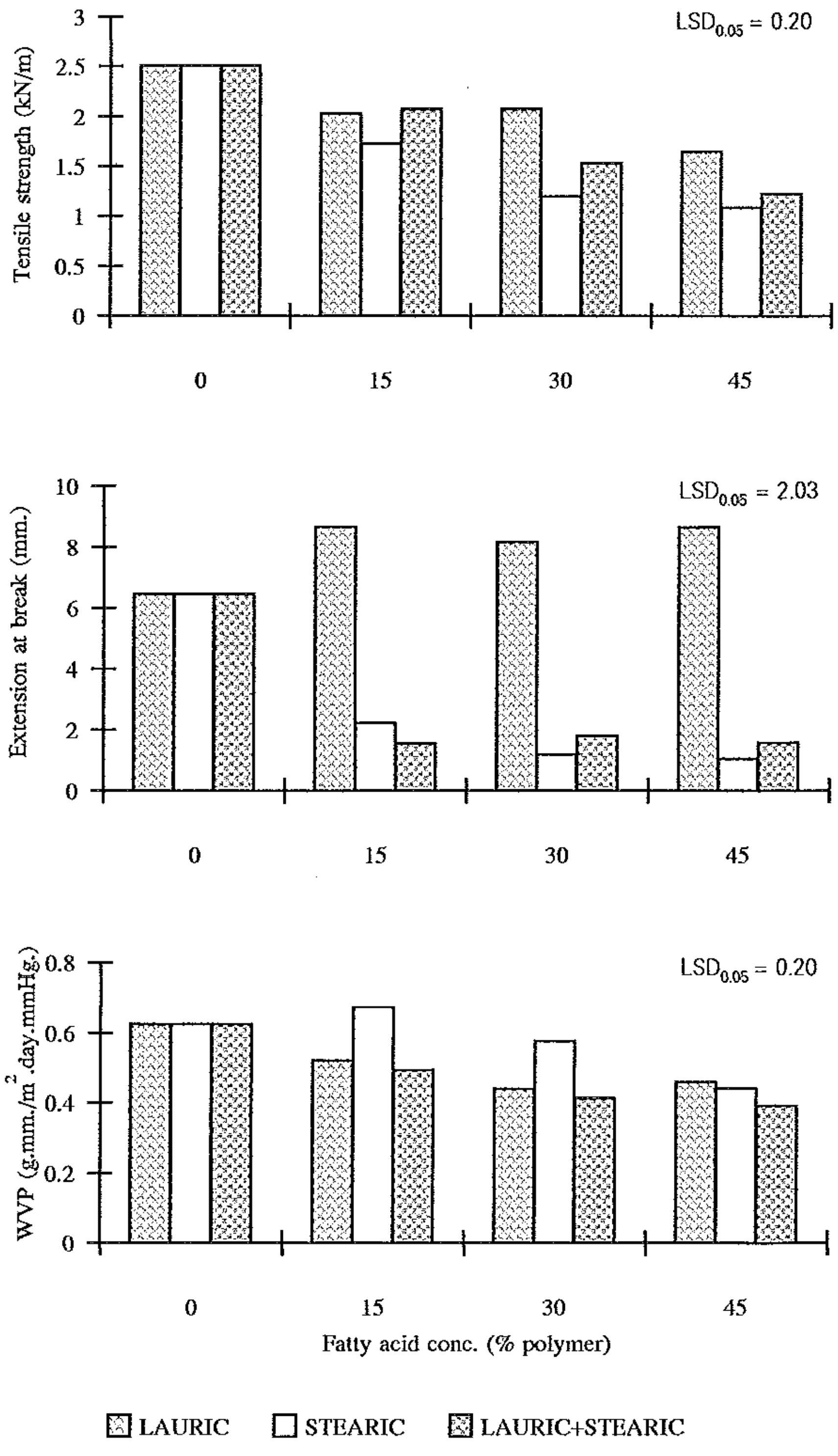
เมื่อใช้กรดไขมัน 2 ชนิดผสมกัน ในอัตราส่วน 50 : 50 พบว่าฟิล์มที่ได้มีค่าการต้านแรงดึงไม่ต่างจากฟิล์มที่เติมกรดลอริกเพียงอย่างเดียวมากนัก ส่วนค่าการยืดตัวเมื่อขาดจะต่ำกว่าฟิล์มที่เติมกรดลอริกในฟิล์มทั้ง 3 ชนิด (CH, MC และ HPMC) ส่วนค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ผสมกรดไขมันผสม (ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ต้องการปรับปรุงในการเติมกรดไขมัน) มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าฟิล์มที่เติมกรดลอริก ดังนั้นจึงเลือกฟิล์มที่เติมกรดไขมันผสม เพื่อศึกษาการย่อยสลายต่อไป โดยเลือกที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดคือร้อยละ 45 เพื่อให้ฟิล์มมีผลของกรดไขมันสูงสุด



รูปที่ 12 ผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซน



รูปที่ 13 ผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนผสม MC



รูปที่ 14 ผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC

6. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาและคุณสมบัติของฟิล์ม

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับคุณสมบัติที่สำคัญของฟิล์มโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ดังแสดงในตารางที่ 18 และใช้เกณฑ์ในการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังนี้ (ธวัชชัย งามสันติวงศ์, 2537)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ความสัมพันธ์
0.00 - 0.20	ไม่มี
0.20 - 0.40	ต่ำ
0.40 - 0.60	กลาง
0.60 - 0.80	ค่อนข้างสูง
0.80 - 1.00	สูง

ตารางที่ 18 ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
	ค่าการต้านแรงดึง	ค่าการยืดตัวเมื่อขาด	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ
ปริมาณไคโตแซน	0.95 **	0.32 *	0.66 **
ปริมาณ MC	-0.66 **	-0.59 **	-
ปริมาณ HPMC	-0.34 **	-0.31 *	-
ปริมาณพลาสติไซเซอร์			
กลีเซอรอล			
CH	-0.94 **	0.94 **	0.70 **
CH-MC	-0.93 **	0.86 **	0.63 **
CH-HPMC	-0.82 **	0.92 **	0.63 **
ซอร์บิทอล			
CH	-0.84 **	0.70 **	-
CH-MC	-0.82 **	0.83 **	-
CH-HPMC	-0.82 **	0.92 **	0.60 **

ตารางที่ 18 (ต่อ)

Factor	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
	ค่าการต้านแรงดึง	ค่าการยืดตัวเมื่อขาด	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ
ปริมาณกรดไขมัน			
กรดลอริก			
CH	-0.57 *	0.36 *	-0.57 *
CH-MC	-0.58 *	-	-
CH-HPMC	-0.76 *	-	-
กรดสเตียริก			
CH	-0.79 **	-0.65 **	-
CH-MC	-0.84 **	-0.61 **	-0.52 *
CH-HPMC	-0.90 **	-0.67 **	-
กรดลอริก+สเตียริก			
CH	-0.51 **	-0.76 **	-
CH-C	-0.67 **	-0.49 **	-0.62 *
CH-HPMC	-0.90 **	-0.58 **	-0.62*

หมายเหตุ - CH (ฟิล์มไคโตแซน) CH-MC (ฟิล์มไคโตแซนผสม MC)

CH-HPMC (ฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC)

* มีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ค่าการต้านแรงดึงแสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับทุกปัจจัยที่ศึกษา ยกเว้นปริมาณไคโตแซน คือถ้าปัจจัยดังกล่าวเพิ่มขึ้นค่าการต้านแรงดึงมีค่าลดลง ส่วนปริมาณของไคโตแซนพบว่าเมื่อปริมาณของไคโตแซนเพิ่มขึ้นค่าการต้านแรงดึงของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ค่าการต้านแรงดึงของแผ่นฟิล์มมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณไคโตแซน ปริมาณกลีเซอรอล

ปริมาณซอร์บิทอล ปริมาณกรดสเตียริก (สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม MCและฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC) และกรดไขมันผสม (สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC) ส่วนปริมาณอนุพันธ์เซลลูโลส (HPMC) มีความสัมพันธ์ต่ำกับค่าการต้านแรงดึง

ค่าการยืดตัวเมื่อขาดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอนุพันธ์เซลลูโลส กรดสเตียริก กรดไขมันผสม ส่วนปัจจัยอื่นๆที่ศึกษามีความสัมพันธ์เชิงบวก ค่าการยืดตัวเมื่อขาดมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณกลีเซอรอล ปริมาณซอร์บิทอล (ยกเว้นฟิล์มไคโตแซน) ส่วนปริมาณไคโตแซน ปริมาณอนุพันธ์เซลลูโลส (HPMC) และปริมาณกรดลอริก (สำหรับฟิล์มไคโตแซน) มีความสัมพันธ์ต่ำกับค่าการยืดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์ม

ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไคโตแซน กลีเซอรอล ซอร์บิทอล(สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับกรดลอริก (สำหรับฟิล์มไคโตแซน) กรดสเตียริก (สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม MC) และกรดไขมันผสมของกรดลอริกและกรดสเตียริก (ยกเว้นฟิล์มไคโตแซน) ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับปริมาณไคโตแซน ปริมาณกลีเซอรอล ปริมาณซอร์บิทอล (สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC) ปริมาณกรดสเตียริก (สำหรับฟิล์มไคโตแซนผสม MC) และปริมาณกรดไขมันผสม (ยกเว้นฟิล์มไคโตแซน)

เมื่อนำฟิล์มทั้ง 3 ชนิดคือ ฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มไคโตแซนผสม MC และฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC ที่ผลิตขึ้นภายใต้สภาวะที่เหมาะสม มาตรวจสอบคุณสมบัติหลักที่สำคัญได้แก่ ค่าการต้านแรงดึง ค่าการยืดตัวเมื่อขาด และค่าการซึมผ่านไอน้ำ เปรียบเทียบกับฟิล์มพีวีซี ซึ่งเป็นฟิล์มที่นิยมใช้ห่อหุ้มอาหาร ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 19 ดังนี้คือ

ตารางที่ 19 คุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากการทดลองและฟิล์มพีวีซี

ชนิดของฟิล์ม	ค่าการต้านแรงดึง (kN/m)	ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (mm.)	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (g.mm./m^2.day.mmHg.)
CH	2.27 ± 0.14	4.56 ± 2.00	0.64 ± 0.05
CH-G	1.10 ± 0.15	24.80 ± 1.73	0.75 ± 0.11
CH-FA	1.59 ± 0.09	0.77 ± 0.11	0.38 ± 0.12
CH-MC	2.10 ± 0.45	4.01 ± 2.01	0.56 ± 0.14
CH-MC-G	0.73 ± 0.08	19.06 ± 1.87	0.76 ± 0.10
CH-MC-FA	1.49 ± 0.14	1.92 ± 0.41	0.30 ± 0.06
CH-HPMC	2.51 ± 0.23	6.45 ±3.69	0.62 ± 0.14
CH-HPMC-G	1.09 ± 0.20	23.57 ± 2.83	0.80 ± 0.08
CH-HPMC-FA	1.22 ± 0.20	1.56 ± 0.40	0.39 ± 0.09
PVC	0.15 ± 0.02	89.65 ± 12.24	0.08 ± 0.00

หมายเหตุ : CH คือ ฟิล์มที่มีไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 1

MC คือ ฟิล์มไคโตแซนผสม MC ร้อยละ 20

HPMC คือ ฟิล์มไคโตแซนผสม HPMC ร้อยละ 20

G คือ ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 60

FA คือ ผสมกรดไขมันผสม (ลอริก+สเตียริก) ร้อยละ 45

PVC คือ โพลีไวนิลคลอไรด์

ฟิล์มจากไคโตแซนที่ผลิตได้มีความแข็งแรงมากกว่าฟิล์มพีวีซี ซึ่งพิจารณาจากค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มที่ผลิตในการทดลองเป็นพวกโพลีแซคคาไรด์ จึงมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี แต่มีค่าการยืดตัวเมื่อขาดต่ำกว่าฟิล์มพีวีซี ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้สูงกว่าฟิล์มพีวีซี เนื่องจากฟิล์มพวกโพลีแซคคาไรด์มีคุณสมบัติชอบน้ำ ค่าการซึมผ่านไอน้ำจึงสูง ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ประโยชน์ของฟิล์มที่ผลิตได้ ควรนำไปใช้ในลักษณะที่เคลือบให้ติดกับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการยืดตัวของฟิล์มยังค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับฟิล์มพีวีซี

7. การศึกษาการย่อยสลายของฟิล์ม

7.1 การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์

การทดลองการย่อยสลายของฟิล์ม 3 ชนิดคือ ฟิล์มไคโตแซน (CH) ฟิล์มไคโตแซนผสมเมททิลเซลลูโลส (CH-MC) และฟิล์มไคโตแซนผสมไฮดรอกซี่โพรพิลเมททิลเซลลูโลส (CH-HPMC) โดยคัดเลือกจากฟิล์มที่มีการเติมกลีเซอรอล (G) และฟิล์มที่มีการเติมกรดไขมันผสม (FA) ในปริมาณที่เหมาะสม ทำการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เปรียบเทียบกับฟิล์มจากการสังเคราะห์ 1 ชนิดคือ ฟิล์มพีวีซี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 20 ดังนี้คือ

ตารางที่ 20 การย่อยสลายของฟิล์มด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ชนิดของฟิล์ม	ระยะเวลาในการย่อยสลาย (วัน)
PVC	>8
CH-G	1
CH-MC-G	1
CH-HPMC-G	1
CH-FA	6-8
CH-MC-FA	5-6
CH-HPMC-FA	5-6

หมายเหตุ : ทำการทดลองเป็นเวลา 8 วัน

ฟิล์มแต่ละชนิดใช้เวลาในการย่อยสลายต่างกันโดยฟิล์มไคโตแซนใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่าฟิล์มไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลส และฟิลม์ที่เติมกลีเซอรอลย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มที่เติมกรดไขมัน

เมื่อพิจารณาผลของชนิดโพลิเมอร์คือ ไคโตแซนและอนุพันธ์เซลลูโลส ฟิล์มไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลสสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มไคโตแซน เช่น ฟิล์มไคโตแซนผสมเมททิลเซลลูโลส และกรดไขมัน ใช้เวลาในการย่อยสลาย 5 - 6 วัน ในขณะที่ฟิล์มไคโตแซนเดี่ยวๆ ผสมกรดไขมัน ใช้เวลาในการย่อยสลาย 6 - 8 วัน เพราะเอนไซม์เซลลูเลสมีความจำเพาะในการตัดสายของอนุพันธ์เซลลูโลสที่ใช้มากกว่าไคโตแซน นอกจากนี้ในระบบการย่อยสลายทางชีวภาพ การย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง เซลลูโลส โปรตีน โดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) แล้วตามด้วยกระบวนการออกซิเดชั่น (oxidation) ดังนั้นโพลีเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพส่วนใหญ่มักพบหมู่ที่จับกับน้ำได้ (hydrolyzable group) ในสายหลักของโพลีเมอร์ (Huang, 1989) ทำให้เกิดกระบวนการไฮโดรไลซีสซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการย่อยสลาย

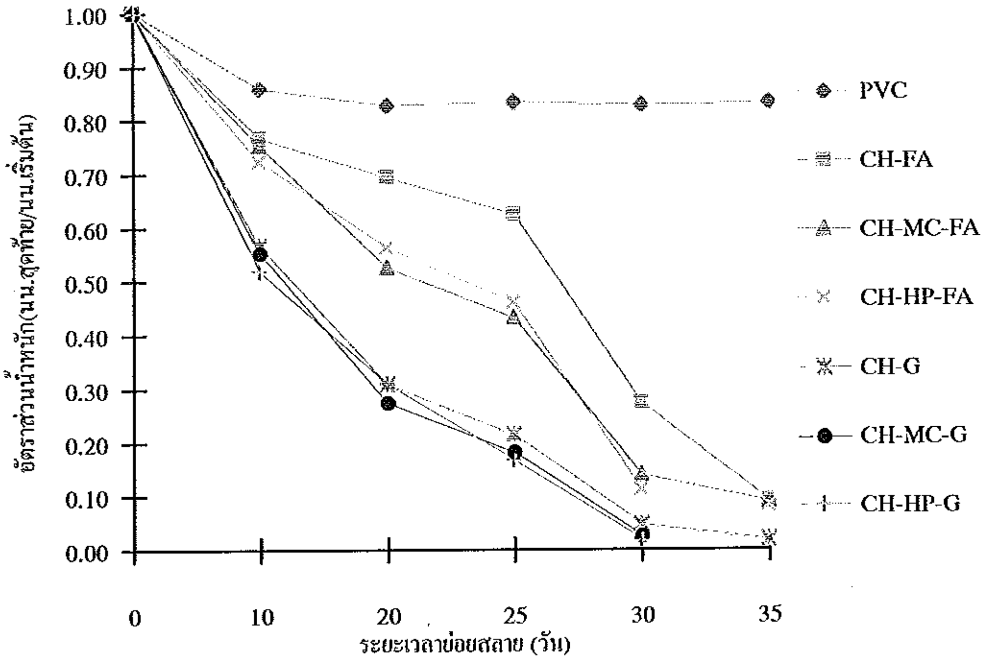
ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลสามารถถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มที่เติมกรดไขมัน เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นตัวดูดความชื้น (swelling agent) และโครงร่างของสายโพลีเมอร์ของฟิล์มมีลักษณะที่เกาะกันอย่างหลวมทำให้เอนไซม์เข้าไปตัดสายของโพลีเมอร์ได้ง่ายขึ้น (Hosokawa, *et al.* 1990) ส่วนฟิล์มที่เติมกรดไขมันพบว่ามีการย่อยสลายที่ช้า อาจเนื่องจากไขมันเป็นพวกที่ไม่มีขั้ว จึงขัดขวางการเกิดไฮโดรไลซีส ซึ่งเป็นกระบวนการเริ่มต้นของการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้การย่อยสลายช้าลง

7.2 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

จากกราฟรูปที่ 15 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำหนัก (น้ำหนักเริ่มต้น / น้ำหนักสุดท้าย) กับระยะเวลา พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลสที่ผลิตจากการทดลอง เกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็วตลอดระยะเวลาที่ศึกษา (35วัน) โดยพบว่าฟิล์มไคโตแซนสามารถถูกย่อยสลายได้ช้ากว่าฟิล์มไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลส และฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลจะย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มที่เติมกรดไขมัน

ฟิล์มไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลสที่เติมกรดไขมันเกิดการสูญเสียน้ำหนักไปประมาณร้อยละ 50 เมื่อเวลาผ่านไป 20 วัน ขณะที่ฟิล์มไคโตแซนซึ่งเติมกรดไขมันจะสูญเสียน้ำหนักไปประมาณร้อยละ 50 ในช่วงเวลาประมาณ 27 วัน ฟิล์มไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลสที่เติมกลีเซอรอลจะย่อยสลายหมดภายใน 35 วัน ส่วนฟิล์มไคโตแซนที่เติมกลีเซอรอลเมื่อเวลาผ่านไป 35 วัน น้ำหนักจะหายไปประมาณร้อยละ 98 ส่วนการย่อยสลายของฟิล์มพีวีซีเกิดขึ้นน้อยมาก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มพีวีซี และฟิล์มจากไคโตแซนพบว่า ความสามารถในการย่อยสลายของฟิล์มจากไคโตแซนสูงกว่าฟิล์มพีวีซีมาก และความสามารถในการย่อยสลายของฟิล์มจากไคโตแซนยังสูงกว่าฟิล์มแอลดีพีอี ผสมแป้งร้อยละ 67 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Goheen และ Wool (1991) ซึ่งการย่อยสลายใช้วิธีการฝังดินเช่นเดียวกันพบว่า ฟิล์มดังกล่าวมีการสูญเสียน้ำหนักไปประมาณร้อยละ 50 เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 50 วัน



รูปที่ 15 อัตราส่วนน้ำหนักของแผ่นฟิล์มระหว่างการย่อยสลาย

CH-G = ฟิล์มไคโตแซน+กลีเซอรอล

CH-MC-G = ฟิล์มไคโตแซน+MC+กลีเซอรอล

CH-HP-G = ฟิล์มไคโตแซน+HPMC+กลีเซอรอล

CH-FA = ฟิล์มไคโตแซน+กรดไขมัน

CH-MC-FA = ฟิล์มไคโตแซน+MC+กรดไขมัน

CH-HP-FA = ฟิล์มไคโตแซน+HPMC+กรดไขมัน

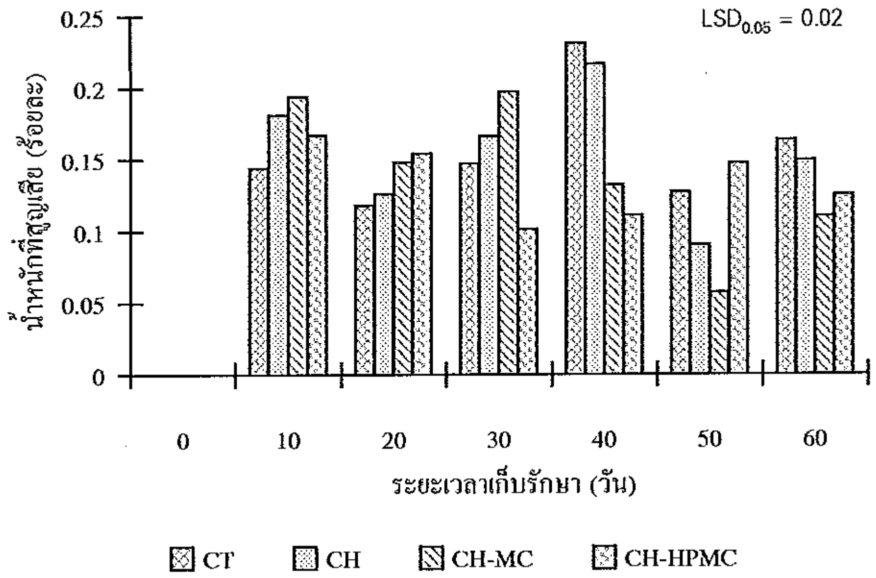
8. การประยุกต์ใช้ฟิล์มเพื่อรักษาคุณภาพชิ้นปลาแช่เยือกแข็ง

การทดลองเคลือบตัวอย่างปลาด้วยสารละลายซึ่งใช้เตรียมฟิล์ม 3 ชนิดคือ สารละลายไคโตแซน (CH) สารละลายไคโตแซนผสมเมททิลเซลลูโลส (CH-MC) และสารละลายไคโตแซนผสมไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลส (CH-HPMC) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างชิ้นปลาระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ - 18 °ซ เป็นระยะเวลา 60 วัน ได้ผลดังนี้คือ

8.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี

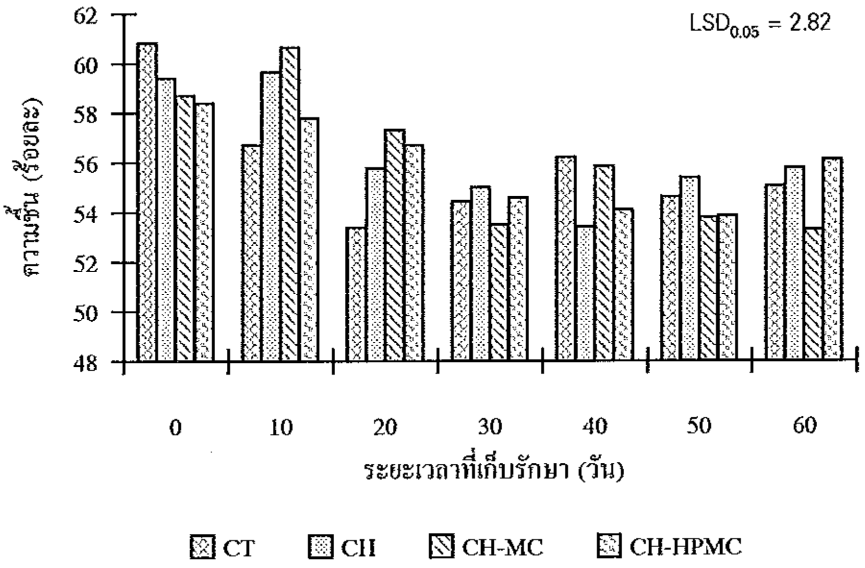
การสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างชิ้นปลามีค่าน้อยมาก ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน (รูปที่ 16) แม้ว่าจะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ระหว่างชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) และตัวอย่างที่เคลือบ แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตแซนและไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลสมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม และน้ำหนักที่สูญเสียไปในชุดที่เคลือบอาจเป็นน้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่เคลือบไม่ใช่น้ำหนักของชิ้นปลา

ค่าความชื้นของตัวอย่างชิ้นปลาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 17) ปริมาณความชื้นของชุดการทดลองที่มีการเคลือบและชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ยกเว้นในวันที่ 40) จากการศึกษาของ Hurling และ Mcarthur (1996) พบว่าการเก็บรักษาปลาคอด ที่อุณหภูมิ -22°ซ เป็นเวลา 9 เดือน ไม่มีผลต่อความชื้นของตัวอย่าง



รูปที่ 16 การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 ° ซ

(CT : ชุดควบคุม, CH , CH-MC, CH-HPMC : ชุดตัวอย่างที่มีการเคลือบ)



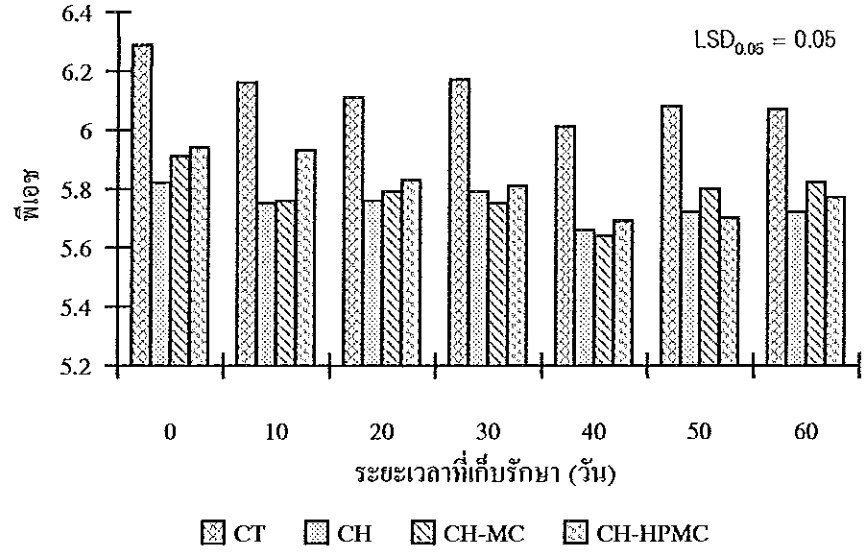
รูปที่ 17 ความชื้นของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 ° ซ

(CT : ชุดควบคุม, CH , CH-MC, CH-HPMC : ชุดตัวอย่างที่มีการเคลือบ)

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (รูปที่ 18) โดยชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) มีค่าพีเอชสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการเคลือบทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากการใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายไคโตแซนที่ใช้ในการเคลือบ โดยปกติปลาที่มีชีวิตมีพีเอชที่เป็นกลาง แต่จะแตกต่างไปตามชนิดของปลา เมื่อปลาตายลงพีเอชมีค่าลดลง เนื่องจากการสะสมของกรดแล็คติกที่ได้จากการเปลี่ยนไกลโคเจนเพื่อให้ได้ ATP โดยผ่านกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic pathway) และพีเอชมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนพวกอะมิโนอิสระ ทำให้ได้แอมโมเนียที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร, 2529; Huss, 1988)

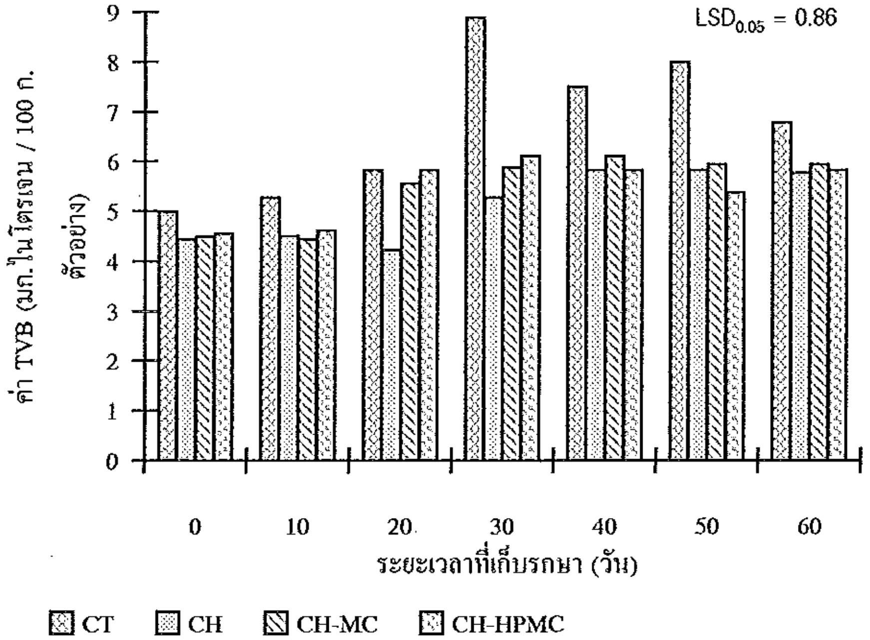
ค่าพีเอชเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่บ่งบอกการเน่าเสียของปลา ถึงแม้ว่าการทดลองครั้งนี้จะไม่ปรากฏผลการยับยั้งการเสื่อมเสียของคุณภาพปลาจากไคโตแซน เนื่องจากไม่เกิดการเน่าเสียของปลา (จากการสังเกต) แต่มีรายงานการวิจัยหลายฉบับที่แสดงให้เห็นผลของไคโตแซนในการควบคุมการเสื่อมเสียของอาหาร เช่น จากการศึกษาของ Darmadji และ Izumimoto (1994) พบว่าไคโตแซนร้อยละ 0.01 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย เช่น *Bacillus subtilis, Escherichia coli, Pseudomonas fragi* และ *Staphylococcus aureus* นอกจากนั้น Ghaouth และคณะ (1991) พบว่าไคโตแซนสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้หลายชนิด

ค่า TVB เป็นปริมาณรวมของด่างที่ระเหยได้ โดยเฉพาะเอมีนที่ระเหยได้ (volatile amine) ทั้งหมดได้แก่ ไตรเมททิลลามีน (TMA) ไดเมททิลลามีน (DMA) และ แอมโมเนีย เมื่อสัตว์น้ำเริ่มเสื่อมคุณภาพปริมาณ TVB สูงขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในเนื้อเยื่อ และเอนไซม์จากแบคทีเรีย (นงลักษณ์ สุทธิวานิช, 2531) ค่า TVB ของตัวอย่างปลาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (รูปที่ 19) ซึ่งอาจเนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในเนื้อเยื่อ และเอนไซม์จากแบคทีเรีย ชุดควบคุมมีค่า TVB สูงกว่าชุดที่มีการเคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยชุดควบคุมมีค่า TVB อยู่ในช่วง 4.99 - 8.88 มิลลิกรัมไนโตรเจน / 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนชุดที่มีการเคลือบด้วยสารละลายไคโตแซน สารละลายไคโตแซนผสมเมททิลเซลลูโลส และ



รูปที่ 18 ค่าพีเอชของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 ° ซ

(CT : ชุดควบคุม, CH , CH-MC, CH-HPMC : ชุดตัวอย่างที่มีการเคลือบ)

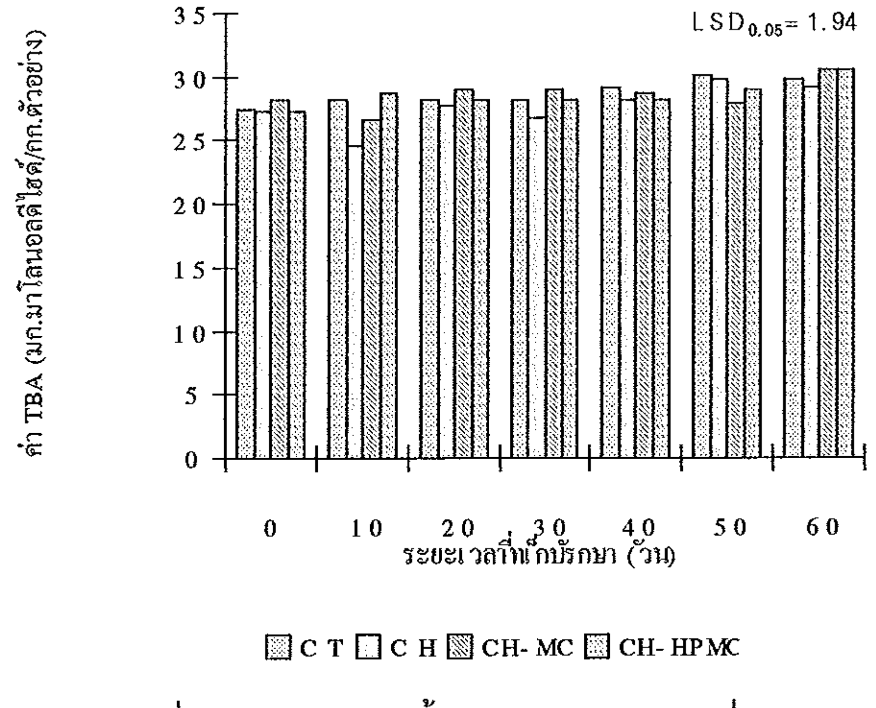


รูปที่ 19 ค่า TVB ของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 ° ซ

(CT : ชุดควบคุม, CH , CH-MC, CH-HPMC : ชุดตัวอย่างที่มีการเคลือบ)

สารละลายไคโตแซนผสมไฮดรอกซี่โพรพิลเมททิลเซลลูโลสอยู่ในช่วง 4.44 - 5.83, 4.49 - 6.14 และ 4.55 - 6.12 มิลลิกรัมไนโตรเจน / 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ จากการศึกษาของ Reddy และคณะ (1992) พบว่า ค่า TVB ของปลา pink perch ในรูปเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18° ซ เป็นเวลา 180 วัน พบว่าค่า TVB อยู่ในช่วง 4.00 - 18.4 มิลลิกรัมไนโตรเจน / 100 กรัมตัวอย่าง โดยในช่วง 60 วันแรกค่า TVB อยู่ในช่วง 4.00 - 10.20 มิลลิกรัมไนโตรเจน / 100 กรัมตัวอย่าง

ค่า TBA ของตัวอย่างปลาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย (รูปที่ 20) อย่างไรก็ตามค่า TBA จากการทดลองครั้งนี้มีค่าค่อนข้างสูงเกินความเป็นจริง ซึ่งอาจเนื่องจากการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในระหว่างการวิเคราะห์ นอกจากนั้นค่า TBA ที่สูงอาจมีผลมาจากอัลดีไฮด์ (aldehyde) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาบิทูริค (thiobarbituricacid) ทำให้เกิดสารประกอบสีแดงซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 nm ได้ (Melton, 1983)



รูปที่ 20 ค่า TBA ของชิ้นปลาระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 °ซ

(CT : ชุดควบคุม, CH, CH-MC, CH-HPMC : ชุดตัวอย่างที่มีการเคลือบ

8.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างปลา ด้วยวิธีพรรณาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis : QDA) ใช้ผู้ทดสอบชิม 10 คน รายละเอียดของคะแนนคุณลักษณะ มีดังนี้

สี	1 หมายถึงสีน้ำตาลอ่อน	10 หมายถึงสีน้ำตาลเข้ม
กลิ่นหืน	1 หมายถึงกลิ่นหืนน้อย	10 หมายถึงกลิ่นหืนมาก
ความฉ่ำ	1 หมายถึงความฉ่ำน้อย	10 หมายถึง ความฉ่ำมาก
ความเหนียว	1 หมายถึงความเหนียวน้อย	10 หมายถึงความเหนียวมาก
การยอมรับรวม	1 หมายถึงการยอมรับรวมน้อย	10 หมายถึง การยอมรับรวมมาก

การเปลี่ยนแปลงของสีตัวอย่างปลา พบว่าสีของตัวอย่างปลาจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วง 30 วันแรก และเริ่มมีสีเข้มขึ้นในวันที่ 40 แต่จะเห็นความแตกต่างระหว่างชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) และชุดการทดลองที่มีการเคลือบในวันที่ 50 เป็นต้นไป (ตารางที่ 21) โดยชุดควบคุมจะมีสีน้ำตาลเข้มกว่าชุดการทดลองที่มีการเคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ภายในชุดการทดลองที่มีการเคลือบเหมือนกันสีของตัวอย่างปลาจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นการใช้สารเคลือบตัวอย่างปลาแช่เยือกแข็งน่าจะช่วยในเรื่องลักษณะปรากฏของปลา คือให้ลักษณะปรากฏของปลาที่ดีกว่าชุดที่ไม่เคลือบ จากการศึกษาของ Santos และ Regenstein (1990) พบว่าในการเก็บรักษาชิ้นปลาในระยะสั้นๆ อาจใช้การเคลือบปลาด้วยน้ำ หรือการจุ่มตัวอย่างปลาในสารกันการเกิดออกซิเดชั่น แทนการใช้ถุง cryovac ซึ่งเป็นถุงที่กันการซึมผ่านได้

การเปลี่ยนแปลงกลิ่นหืนของตัวอย่างปลา ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย (ตารางที่ 21) ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยเช่นกัน และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ระหว่างตัวอย่างชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) และตัวอย่างชุดที่มีการเคลือบ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา กลิ่นหืนเกิดจากการเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน เนื่องจากไขมันในอาหารทะเลส่วนใหญ่จะเป็นพวกไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว จึงเกิดออกซิเดชั่นได้ง่าย การเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในระหว่างการเก็บรักษา เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้าน กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ

(Srikar, *et al.*, 1989) ในปลาที่มีไขมันต่ำ (lean fish) ทั้งไตรกลีเซอไรด์(triglycerides) และฟอสโฟไลปิด(phospholipid) สามารถถูกย่อยสลาย เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลามากกว่า 12 เดือน ในปลาที่มีไขมันสูง กรดไขมันอิสระส่วนใหญ่จะมาจากไตรกลีเซอไรด์ การเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในอาหารทะเลสามารถป้องกันได้โดยการให้ความร้อนกับอาหาร (Khayat and Schwall, 1983)

ความฉ่ำของตัวอย่างปลาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (ตารางที่ 21) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบความฉ่ำของชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) และชุดการทดลองที่มีการเคลือบทุกชุดการทดลอง ปรากฏว่าความฉ่ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงว่าการเคลือบตัวอย่างไม่มีผลต่อความฉ่ำ และการที่ตัวอย่างปลาเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วันความฉ่ำไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากปริมาณน้ำในตัวอย่างที่ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วอาจเนื่องจากปลาที่ใช้ทดลองเป็นปลาที่มีไขมันสูงซึ่งช่วยให้ปลามีความฉ่ำ จากการทดลองของ Nilsson และ Ekstrand (1995) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อความฉ่ำและความเหนียวของตัวอย่างปลาเรนโบว์ทเราท์ โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 18 เดือน ที่อุณหภูมิ -18 °ซ จะมีความฉ่ำน้อยกว่าที่อุณหภูมิ - 40 °ซ ในขณะที่ความเหนียวของปลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °ซ มีค่ามากกว่าปลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 40 °ซ

ความเหนียวของตัวอย่างปลาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (ตารางที่ 21) โดยความเหนียวของตัวอย่างปลาชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) จะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับชุดการทดลองที่มีการเคลือบทุกชุดการทดลอง การเก็บรักษาปลาโดยการแช่เยือกแข็ง โดยเฉพาะปลาที่มีไขมันต่ำ มักมีข้อจำกัดในเรื่องของการเปลี่ยนสภาพของโปรตีน ทำให้ปลามีความเหนียวเพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ (Nilsson and Ekstrand, 1995) อุณหภูมิในการเก็บรักษาจึงมีผลอย่างมากต่อการเสียสภาพของโปรตีนเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง โปรตีนจะเสียสภาพเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่ต่ำเพียงพอ เช่น อุณหภูมิที่อยู่ในช่วง -8 °ซ ถึง -10 °ซ (Jiang, *et al.*, 1988) นอกจากนั้นระยะเวลาในการเก็บรักษาจะมีผลต่อความเหนียวของปลา โดยเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปลามีความเหนียวเพิ่มขึ้น (Huang, *et al.*, 1992; Hurling and Mcarthur, 1996)

การยอมรับรวมของตัวอย่างปลาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วันมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย (ตารางที่ 21) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดควบคุม (ไม่เคลือบ) และชุดตัวอย่างที่มีการเคลือบทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากคุณลักษณะอื่นๆที่ทำการประเมินมีการเปลี่ยนแปลงน้อยยกเว้นค่าสี ตัวอย่างที่มีการเคลือบเมื่อเวลาผ่านไป 50 วัน มีสีน้ำตาลเข้มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อการยอมรับรวม

ตารางที่ 21 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นหืน ความฉ่ำ ความเหนียว และการยอมรับรวม ของชิ้นปลาเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 °ซ เป็นเวลา 60 วัน

ลักษณะ /	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)						
สารเคลือบ	0	10	20	30	40	50	60
สี							
ชุดควบคุม	0.18^{aA*}	0.17^{aA}	0.19^{aA}	0.20^{aA}	0.63^{aA}	1.96^{bB}	1.89^{bB}
ไคโตแซน	0.15^{aA}	0.17^{aA}	0.19^{aA}	0.19^{aA}	0.62^{aAB}	1.22^{aB}	1.01^{aB}
ไคโตแซน + MC	0.19^{aA}	0.16^{aA}	0.18^{aA}	0.19^{aA}	0.62^{aAB}	1.10^{aB}	1.12^{aB}
ไคโตแซน + HPMC	0.16^{aA}	0.16^{aA}	0.16^{aA}	0.17^{aA}	0.60^{aAB}	1.09^{aB}	1.03^{aB}
กลิ่นหืน							
ชุดควบคุม	0.26^{aA}	0.26^{aA}	0.27^{aA}	0.26^{aA}	0.27^{aA}	0.26^{aA}	0.27^{aA}
ไคโตแซน	0.26^{aA}	0.26^{aA}	0.27^{aA}	0.24^{aA}	0.25^{aA}	0.25^{aA}	0.25^{aA}
ไคโตแซน + MC	0.26^{aA}	0.27^{aA}	0.25^{aA}	0.27^{aA}	0.26^{aA}	0.24^{aA}	0.26^{aA}
ไคโตแซน + HPMC	0.27^{aA}	0.25^{aA}	0.28^{aA}	0.26^{aA}	0.26^{aA}	0.26^{aA}	0.24^{aA}
ความฉ่ำ							
ชุดควบคุม	6.77^{aA}	6.90^{aA}	6.87^{aA}	6.70^{aA}	6.33^{aA}	6.55^{aA}	6.50^{aA}
ไคโตแซน	7.00^{aA}	6.85^{aA}	6.84^{aA}	6.75^{aA}	6.54^{aA}	6.67^{aA}	6.48^{aA}
ไคโตแซน + MC	6.76^{aA}	6.79^{aA}	6.61^{aA}	6.87^{aA}	6.73^{aA}	6.65^{aA}	6.55^{aA}
ไคโตแซน + HPMC	6.82^{aA}	6.77^{aA}	6.69^{aA}	6.77^{aA}	6.70^{aA}	6.40^{aA}	6.71^{aA}

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ลักษณะ / สารเคลือบ	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)						
	0	10	20	30	40	50	60
ความเหนียว							
ชุดควบคุม	3.03[aA]	3.10[aA]	2.87[aA]	3.13[aA]	3.11[aA]	3.19[aA]	3.25[aA]
ไคโตแซน	2.91[aA]	3.09[aA]	2.86[aA]	3.12[aA]	3.11[aA]	3.14[aA]	3.11[aA]
ไคโตแซน + MC	2.99[aA]	3.15[aA]	3.07[aA]	3.19[aA]	2.99[aA]	3.00[aA]	3.12[aA]
ไคโตแซน + HPMC	2.99[aA]	3.14[aA]	2.59[aA]	3.14[aA]	3.01[aA]	3.21[aA]	3.14[aA]
การยอมรับรวม							
ชุดควบคุม	7.01[aA]	7.02[aA]	7.00[aA]	6.85[aA]	6.99[aA]	6.97[aA]	6.72[aA]
ไคโตแซน	7.27[aA]	7.01[aA]	7.02[aA]	7.16[aA]	6.89[aA]	6.87[aA]	6.84[aA]
ไคโตแซน + MC	7.06[aA]	6.95[aA]	7.11[aA]	6.83[aA]	6.85[aA]	7.14[aA]	6.82[aA]
ไคโตแซน + HPMC	7.01[aA]	6.17[aA]	7.07[aA]	7.13[aA]	6.75[aA]	7.03[aA]	6.99[aA]

* อักษรตัวพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแต่ละแถว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ยคะแนนจากผู้ทดสอบชิม 10 คน

บทที่ 4

สรุป

ฟิล์มจากไคโตแซนที่ผลิตขึ้นมีความหนา ความหนาแน่นผิวหน้า และค่าการต้านแรงดึงที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของไคโตแซนเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของไคโตแซนเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 เนื่องจากคุณสมบัติชอบน้ำของฟิล์ม ฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนและอนุพันธ์เซลลูโลสให้ค่าการต้านแรงดึงสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของอนุพันธ์เซลลูโลสร้อยละ 10 ค่าการต้านแรงดึงที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างไคโตแซนและอนุพันธ์เซลลูโลส ทำให้เกิดการเชื่อมไขว้กันมากขึ้น ฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ มีค่าการต้านแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ แต่ค่าการยืดตัวเมื่อขาดและค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอร์รอลเป็นพลาสติไซเซอร์ ซึ่งเป็นผลเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลและความสามารถในการละลายน้ำของพลาสติไซเซอร์ การเข้ากันได้ของกรดลอริกกับโครงสร้างของของไคโตแซนอาจเป็นเหตุผลซึ่งทำให้ฟิล์มที่เติมกรดลอริกป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่าฟิล์มที่เติมกรดสเตียริก แต่ฟิล์มที่เติมสารละลายผสมของกรดไขมันทั้งสองชนิดสามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่าฟิล์มที่เติมกรดลอริก

สำหรับการย่อยสลายนั้น ฟิล์มไคโตแซนผสมอนุพันธ์เซลลูโลสย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มไคโตแซน ซึ่งอาจเป็นผลจากความจำเพาะเจาะจงของเอนไซม์เซลลูเลสกับอนุพันธ์ของเซลลูโลสมากกว่าไคโตแซน ในขณะที่ผลของพลาสติไซเซอร์จากกลีเซอรอล และความเป็นขั้วของกรดไขมัน ที่ขัดขวางการเกิดไฮโดรไลซีส ซึ่งเป็นขบวนการเริ่มต้นของการย่อยสลาย ทำให้ฟิล์มที่ผสมกลีเซอรอลย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มผสมกรดไขมัน และจากการทดลองครั้งนี้ฟิล์มไคโตแซนที่ผลิตได้มีความสามารถในการย่อยสลายสูงกว่าฟิล์มพีวีซีมาก

เนื่องจากฟิล์มที่ผลิตได้จากการทดลองครั้งนี้มีความยืดหยุ่นค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพีวีซี ดังนั้นการประยุกต์ใช้จึงควรใช้ในลักษณะที่เคลือบให้ติดกับผลิตภัณฑ์ โดยการศึกษาครั้งนี้ทดลองเคลือบชิ้นปลาแช่เยือกแข็งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาชิ้นปลา ปรากฏว่าการเคลือบชิ้นปลาจะช่วยในเรื่องของลักษณะปรากฏของชิ้นปลา คือสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสี ส่วนผลต่อคุณลักษณะอื่นมีค่อนข้างน้อย

ข้อเสนอแนะ

1. ผลของกรดไขมันจากการศึกษาครั้งนี้มีผลเพียงเล็กน้อย ดังนั้นหากมีการศึกษาต่อไป ควรเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันให้สูงมากว่านี้

2. การประยุกต์ใช้ฟิล์มจากไคโตแซนเคลือบผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแห้ง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความมันวาวของฟิล์ม ให้ลักษณะปรากฏที่ดีกว่าการไม่เคลือบ แต่ต้องใช้ระดับความแข้มข้นของไคโตแซนที่เหมาะสม เพราะถ้าน้อยเกินไปอาจไม่เกิดลักษณะมันวาวของฟิล์ม แต่ข้อดีของการเคลือบผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งคือ ช่วงที่รอสารละลายที่เคลือบแห้ง สามารถนำเข้าแช่เยือกแข็งให้สารเคลือบแข็งติดกับผลิตภัณฑ์ได้เลย สารเคลือบส่วนที่เกินลงมาก็มีน้อย

3. การประยุกต์ใช้อีกกรณีที่น่าสนใจศึกษาคือ การผลิตถุง (pouch) บรรจุสารต่างๆที่แห้ง เพราะในขั้นตอนที่ศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์จากการศึกษาครั้งนี้ ฟิล์มที่ผลิตได้มีลักษณะเกาะติดกันได้ ซึ่งน่าจะทำเป็นถุงได้

เอกสารอ้างอิง

เกศศิณี ตระกูลทิวากร, วิภา สุโรจนะเมธากุล, ประชา บุญญสิริกูล และสมยศ จรรยาวิลาศ 2539. การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง. อาหาร 26(4) : 249 - 262.

ชิดชม ฮิรางะ, จุฬาลักษณ์ จารุนุช และ กาญจนารัตน์ ทวีสุข. 2537. การผลิต carboxymethyl - chitin เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย์.) 28 : 273 - 282.

ธวัชชัย งามสันติวงศ์. 2539. เอส พี เอส เอส / พีซี+ เอส พี เอส เอส ฟอร์วินโดวส์ หลักการและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพฯ : บริษัท 21 เซนจูรี.

นงลักษณ์ สุทธิวานิช. 2531. คุณภาพสัตว์น้ำ. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิทัต. 2537. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ. หน้า 131 - 133. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร. 2529. เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ประมง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล และ ไพรัตน์ โสภโณดร. 2533. การผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งแชบ๊วย. ว. สงขลานครินทร์ 12 (4) : 439 - 443.

อัจฉราวดี สัตยพานิชย์. 2536. พลาสติกที่ย่อยสลายได้. สภาวะแวดล้อม 12(2) : 42 -46.

อุดมชัย จินะดิษฐ์. 2535. ผลิตภัณฑ์จากเปลือกกุ้งกับการพัฒนาเทคโนโลยี. ว.สสท. ฉบับเทคโนโลยี 19 (104) : 50 - 54.

Albertsson, A. C. and Karlsson, S. 1988. The three stage in degradation of polymers - polyethylene as a model substance. J. Appl. Polym. Sci. 35 : 1289 - 1302.

Anonymous. 1997. Edible films solve problems. Food Technol. 51 (2) : 60.

A.O.A.C. 1990. Official Method of Analysis of the Assoiation of Official Analytical Chemist. 15 th ed.The Association of Official Analytical Chemists Inc.,Verginia.

ASTM. 1983. Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Material. E 96. *In* Annual Book of American Standard Testing Method . American Society for Testing and Material. Philadephia, Pa. pp 682 - 691.

ASTM. 1996. Standard Test Method for Tensile Property of Thin Plastic Sheeting. D 882 - 95. *In* Annual Book of American Standard Testing Method . American Society for Testing and Material. Philadephia, Pa. pp 182 - 190.

ASTM. 1996 a. Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymer Material to Fungi. G 21 - 90. *In* Annual Book of American Standard Testing Method . American Society for Testing and Material. Philadephia, Pa. pp 1170 - 1172.

Austin, P. R., Brine, C. J., Castle, J. E. and Zikakis, J. P. 1981. Chitin : New facets of research. Science 212 (15) : 749 - 753.

Averbach, B. L. 1978. Film - Forming Capability of Chitosan. *In* Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan (Eds. R. A. A. Muzzarelli and E. R. Pariser),pp.199 - 209. Cambridge, MA : MIT Sea Grant Program.

Banker, G. S. 1966. Film coating theory and practice. J. Pharm. Sci. 55 : 81 - 89.

Benjakul, S. and Sophanodora, P. 1993. Chitosan production from carapace and shell of Black Tiger shrimp (*Penaeus monodon*). ASEAN Food J. 8 (4) : 145 - 148.

Blair, H. S., Guthrie, J., Law,T. and Turkington, P. 1987. Chitosan and modified chitosan membranes I. Preparation and characterisation. J. Appl. Polym. Sci. 54 : 641 - 656.

Butler, B. L., Vergano, P. J., Testin, R. F., Bunn, J. M. and Wiles, J. L. 1996. Mechanical and barrier properties of edible chitosan film as affected by composition and storage. J. Food Sci. 61 (5) : 953 - 955,961.

Chandrkrachang, S. 1996. Specification of chitin and chitosan in the world market. Guidline for Workshop on the Quality Criteria of Chitin and Chitosan at AIT, Bangkok,Thailand, Nov. 1996.

Cherian, G., Gennadios, A. Weller, C. and Chinachoti, P. 1995. Thermomechanical behavior of wheat gluten films : Effect of sucrose, glycerin and sorbitol. Cereal Chem. 72 (1) : 1 - 6.

Chinnan, M. S. and Park, H. J. 1995. Effect of plasticizer level and temperature on water vapor transmission of cellulose - based edible film. J. Food Process Engineering 18 : 417 - 429.

Coffin, D. R. and Fishman, M. L. 1994. Physical and mechanical properties of highly plasticized Pectin/Starch film. J. Appl. Polym. Sci. 54 : 1311 - 1320.

Conway, E. J. and Byrne, A. 1936. An absorption apparatus for the micro - determination of certain volatile substances. I.The micro - determination of ammonia. Biochem. J. 27 : 419 - 429.

Crompton, T. R. 1979. Additive Migration From Plastic into Food. Oxford : Pergamon Press.

Cuq, B., Aymard, C., Cuq, J. and Guilbert, S. 1995. Edible packaging films based on fish myofibrillar protein : formulation and functional properties. J. Food Sci. 60 (6) : 1369 - 1374.

Darmadji, P. and Izumimoto M. 1994. Effect of chitosan in meat preservation. Meat Science 38 : 243 - 254.

Donhowe, I. G. and Fennema, O. 1994. Edible Film and Coating : Characteristics, Formation, Definitions and Testing Method. *In* Edible Coatings and Films to Improve Food Quality (eds. J. M. Krochta, E. M. Baldwin, and M. O. Nisperos - Carrido) pp. 1 - 24. Lancaster : Technomic Publishing Company, Inc.

Egan, H., Kirk, R. S. and Sawyer, R. 1981. Pearson's Chemical Analysis of Food. London : Churchill Livingstone.

El Ghaouth, A. E., Arul, J. Ponnampalam, R. and Boulet, M. 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. J. Food Sci. 56 : 1618 - 1620.

Emsley J. 1991. Degradable plastic. New Scientist 19 (50) : 1 - 4.

Filar, L. J. and Wirick, M. G. 1978. Bulk and solution properties of chitosan. Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan (Eds. R. A. A. Muzzarelli and E. R. Pariser). Boston, Massachusetts, USA, 11 - 13 April. pp.169 - 181.

Gennadios, A. and Weller, C. L. 1990. Edible and coating from wheat and corn proteins. Food Technol 44 (10) : 63 - 69.

Gennadios, A., Weller, C. L. and Testin, R. F. 1993 a. Modification of physical and barrier properties of edible wheat gluten - based films. Cereal Chem. 70 (4) : 426 - 429.

Gennadios, A., Weller, C. L. and Testin, R. F. 1993 b. Temperature effect on oxygen permeability of edible protein-based films. J. Food Sci. 58(1) : 212 - 214, 219.

Ghazala, S. 1994. New packaging Technology for Seafood Preservation Shelf - life Extention and Pathogen. *In* Fisheries Processing : Biotechnological Application (ed. A. M. Martin) pp 82 - 110. London : Chapman & Hall.

Goheen, S. M. and Wool, R. P. 1991. Degradation of polyethylene - starch blends in soil. J. Appl. Polym. Sci. 42 : 2691 - 2701.

Gontard, N., Guilbert, S. and Cug, Jean-Louis. 1992. Edible wheat gluten films : Influence of the main process variable on film properties using response surface methodology. J. Food Sci. 57(1) : 190 - 199.

Gontard, N., Guilbert, S. and Cug, Jean-Louis. 1993. Water and glycerol as plasticizer affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. J. Food Sci. 58 (1) : 206 - 211.

Hasegawa, M., Isogai, A., Onabe, F., Usuda, M. and Atalla, R. H. 1992. Characterization of cellulose - chitosan blend films. J. Appl. Polym. Sci. 45 : 1873 - 1879.

Herald, T. J., Gnanasambandam, R., Mcguire, B. H. and Hachmeister, K. A. 1995. Degradable wheat gluten film : Preparation, properties and application. J. Food Sci. 60 (5) : 1147 - 1331.

Herald, T.J. Hachmeister, K. A., Huang, S. and Bowers, J. R. 1996. Corn zein packaging material for cooked Turkey. J. Food Sci. 6 (2) : 415 - 417, 421.

Hirano S. and Akiyama, Y. 1995. Absence of a hypocholesterolaemic action of chitosan in high-serum-cholesterol rabbits. J. Sci. Food Agric. 69 : 91 - 94.

Hosokawa, J., Nishiyama, M., Yoshihara, K. and Kubo, T. 1990. Biodegradable film derived from chitosan and homogenized cellulose. Ind. Eng. Chem. Res. 29 : 800 - 805.

Hosokawa, J., Nishiyama, M., Yoshihara, K., Kubo, T. and Terabe, A. 1991. Reaction between chitosan and cellulose on biodegradable composite film formation. Ind. Eng. Chem. Res. 30 : 788 - 792.

Huang, S. J. 1989. Biodegradation. *In* Compensive Polymer Science : The Synthesis, Characterization, Reactions & Applications of Polymers (eds. G. Allen and J. C. Bevington) vol.6, pp. 597 - 606. Oxford : Pergamon Press.

Huang, Y. W., Lillard, D. A., Koehler, P. E. and Eitenmiller, R. R. 1992. Chemical change and sensory evaluation of channel catfish as affect by diet, packaging method and frozen stroage. J. Food Qual. 15 (2) : 129 - 138.

Hurling, R. and Mcarthur, H. 1996. Thawing, refreezing and frozen stroage effect on muscle functionality and sensory attributes of frozen cod (*Gadus morhua*). J. Food Sci. 61 (6) : 1289 - 1296.

Huss, H. H. 1988. Fresh Fish Quality and Quality Change. Rome : FAO.

JECFA. 1993. Compendium of Food Additive Specifications. vol. 1 - 2. Rome : FAO.

Jiang, S. T., Hwang, D. C. and Chen, C. S. 1988. Effect of stroage temperature on the formation of disulfides and denaturation of milkfish actomyosin (Chanos chanos). J. Food Sci. : 1333 - 1335, 1386.

Kang, B. G., Yoon, S. H., Lee, S. H., Yie, J. E., Yoon, B. S. and Suh, M. H. 1996. Studies on the physical properties of modified starch-filled HDPE film. J Appl. Polym. Sci. 60 : 1977 - 1984.

Kester, J. J. and Fennema, O. 1983. An edible film of lipid and cellulose ether : Barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. J. Food Sci. 54 (6) : 1383 - 1389.

Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1986. Edible film and coatings : A review. Food Technol. 40 (12) : 47 - 59.

Khayat, A. and Schwall, D. 1983. Lipid oxidation in seafood. Food Technol. 37(7) : 130 - 140.

Knorr, D. 1982. Functional properties of chitin and chitosan. J. Food Sci 47 (2) : 593 - 595.

Knorr, D. 1984. Use of chitinous polymers in food. Food Technol. 38 : 85 - 97.

Krochta, J. M. and De Mulder - Johnston, J. 1997. Edible and biodegradable polymer films : challenges and opportunities. Food Technol. 51 (2) : 61 - 74.

Kroschwitz, J. I. 1990. Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. New York : John Wiley & Son, Inc.

Kungsuwan, A., Ittipong, B and Chandrkrachang, S. 1996. Preservative effect of chitosan on fish products. Proceeding of the Seccond Asia Pacific Symposium on Chitin and Chitosan : Environmental Friendly and Versatile Biomaterial. (eds. W. F. Stevens, M. S. Rao and S. Chandrkrachang). Asian Institute of Technology, Bangkok, 21 - 23 November. pp. 193 - 199.

Lieberman, E. R. and Gilbert, S. G. 1973. Gas permeability of collagen films as affected by cross - linking, moisture and plasticizer content. J. Polym. Sci. 41 : 33 - 43.

Madhavan, P. and Ramachandrannair, K. G. 1974. Utilization of prawn waste - isolation of chitin and its conversion to chitosan. Fish. Technol. 11(1) : 50 - 53.

McHugh, T. H. and Krochta, J. M. 1994 a. Milk protein based edible film and coatings. Food Technol. 48 (1) : 97 - 103.

McHugh, T. H. and Krochta, J. M. 1994 b. Water vapor permeability properties of edible whey protein lipid emulsion film. J. Am. Oil Chem. Soc. 71 (3) : 307 - 312.

McHugh, T. H., Aujard, J. F. and Krochta, J. M. 1994. Plasticcizer whey protein edible film : water vapor permeability properties. J. Food Sci. 59 (2) : 416 - 419,423.

McGahren, W. J., Perkinson, G. A., Growich, J. A., Leese, R. A. and Ellestal, G. A. 1984. Chitosan by fermentation. Process Biochemistry 19 : 88 - 90.

Melton, S. L. 1983. Methodology for following lipid oxidation in muscle foods. Food Technol. 37 (7) : 105 - 116.

Mima, S., Miya, M., Iwamoto, R. and Yoshikawa, S. 1983. Highly deacetylated chitosan and its properties. J. Appl. Polym. Sci. (28) : 1909 - 1917.

Moorjari, M.N., Achuttha, V. and Khasim, D. I. 1975. Parameters affecting the viscosity of chitosan from prawn waste. J. Food Sci. Technol. 12 : 187 - 189.

Moorjani, M. N., Khasim, D. I., Rajalakshmi, S., Puttarajappa, P. and Amla, B. L. 1978. Chitosan of high viscosity and protein as a value by - product from squilla. Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan (Eds. R. A. A. Muzzarelli and E. R. Pariser). Boston, Massachusetts, USA, 11 - 13 April. pp.210 - 216.

Muzzarelli, R. A. A. 1977. Chitin. New York : Pergamon Press Ltd.

Nilsson, K. and Ekstrand, B. 1995. Frozen stroage and thawing methods affect biochemical and sensory attributes of rainbow trout. J. Food Sci. 60 (3) : 627 - 635.

Ockerman, H.W. 1992. Fishery By-products. *In* Fish Processing Technology (ed. G. M. Hall) pp 155 - 192. New York : VCH Publishers, Inc.

Park, H. J., Weller, C. L., Vergano, P. J. and Testin, R. F. 1993. Permeability and mechanical properties of cellulose - based edible films. J. Food Sci. 58 (6) : 1361 - 1370.

Pennisi, E. 1992. Seal in edible film. Science News 141 : 12 - 13.

Qurashi, M. T., Blair, H. S. and Allen, S. J. 1992. Studies on modified chitosan membranes. I Preparation and characterization. J. Appl. Polym. Sci. 46 : 255 - 261.

Reddy, G. V. S., Srikar, L. N. and Sudhakara, N. S. 1992. Deteriorative change in pink perch mince during frozen stroage. Int J. Food Sci. Technol. 27 (3) : 271 - 276.

Risch, S. J. 1988. Migration of toxicants, flavors and odor-active substances from flexible packaging materials to food. Food Technol. 42 (7) : 95 - 102.

Rizvi, S. S. H. and Mittal, G. S. 1992. Experimental Method in Food Engineering. pp 229 - 235. New York : Van Nostrand Reinhold.

Rutherford, F. A. and Austin, P. R. 1978. Marine chitin properties and solvents. Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan (Eds. R. A. A. Muzzarelli and E. R. Pariser). Boston, Massachusetts, USA, 11 - 13 April. pp.182 - 192.

Sakurai, K. Maegawa, T. and Takahashi, T. 1996. Glass transition temperature of chitosan and miscibility of chitosan/poly(vinylpyrrolidone) blends. Proceeding of the Seccond Asia Pacific Symposium on Chitin and Chitosan : Environmental Friendly and Versatile Biomaterial. (eds. W. F. Stevens, M. S. Rao and S. Chandrkrachang). Asian Institute of Technology, Bangkok, 21 - 23 November. pp. 224 - 227.

Santos, E. E. M. and Regenstein, J. M., 1990. Effect of vacuum packing, glazing and erythorbic acid on the shelf - life of frozen white hake and mackerel. J. Food Sci. 55 (1) : 64 - 70.

Schwartzberg, H. G. 1986. Modeling of Gas Vapor Transport Through Hydrophilic Films. *In* Food Packing and Preservation (ed. M. Mathlouthi), p.115. New York :Elsevier Applied Sci. Pub.

Shahidi, F., Synowiecki, J. and Naczk, M. 1992. Utilization of shellfish processing discards. *In* Seafood Science and Technology (ed. E. G. Bligh) pp. 300 - 305 . Cornwall : Hartnolls Ltd.

Sikozaki, Z. E. and Kolakoska, A. 1990. Freezing of Marine Food. *In* Seafood Resource, Nutritional Composition and Preservation (ed. Z. E. Sikorski) pp. 111 - 124. Florida : CRC Press, Inc.

Sikorski, Z. E. and Pan, B. S. 1994. Preservation of Seafood Quality. *In* Seafood : Chemistry, Processing Technology and Quality (eds. F. Shahidi and J. R. Botta) pp. 168 - 195. London : Blackie Academic & Professional.

Simpson, B. K., Gagne, N. and Simpson, M. V. 1994. Bioprocessing of chitin and chitosan. *In* Fisheries Processing : Biotechnological Application (ed. A. M. Martin) pp 155 - 173. London : Chapman & Hall.

Singh, D. K. and Ray, A. R. 1994. Graft copolymerization of 2-hydroxyethylmethacrylate onto chitosan film and their blood compatibility. J. Appl. Polym. Sci. 53 : 1115 - 1121.

Sornprasit, P. 1997. Characterization of chitosan from squid pens. M.Sc. Thesis in Biological Sciences, Prince of Songkla University.

Srikar, L. N., Seshadari, H. S. and Fazal, A. A. 1989. Change in lipid and protein of marine catfish (*Tachysurus dussumieri*) during frozen storage. Int. J. Food Sci. Technol. 24 : 653 - 658.

Stone, J., Sidel, J., Oliver, S. and Woolsey, A. 1974. Sensory evaluation by quanlitative descriptive analysis. Food Technol. 28 (11) : 24 - 34.

Stuchell, Y. M. and Krochta, J. M. 1995. Edible coatings on frozen King salmon : effect of whey protein isolation and acetylated monoglyceride on moisture loss and lipid oxidation. J. Food Sci. 60 (1) : 28 - 31.

Tokura, S., Nishi, N., Tsotsumi, A. and Somorin, O. 1983. Studies on chitin. III Some properties of water soluble chitin derivative. Polym. J. 15 (6) : 485 - 489.

Wheaton, F. W. and Lawson, T. B. 1985. Processing Aquatic Food Products. New York : John Wiley & Sons.

Whelan, T. 1994. Polymer Technology Dictionary. London : Chapman & Hall.

Wong, D. W. S., Gastineau, F. A., Greyorski, K. S., Tillin, S. J. and Pavlath, A. E. 1992. Chitosan - lipid film : Microstructure and surface energy. J. Agri. Food Chem. 40 : 540 - 544.

Wong, D. W. S., Gregorski, K. S., Hudson, J. S. and Pavlath, A. E. 1996. Calcium alginate films : Thermal processing and permeability to sorbate and ascorbate. J. Food Sci. 61 (2) : 337 - 341.

Yamada, K. Takahashi, H. and Noguchi, A. 1995. Improved water resistance in edible zein films and composite for biodegradable food packaging. Int. J. Food Sci. Technol. 30 : 599 - 608.

Yao, K. D., Liu, J., Cheng, G. X., Lu, X. D. and Tu, H. L. 1996. Swelling behavior of pectin/chitosan complex films. J. Appl. Polym. Sci. 60 : 279 - 283.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์หาความชื้น (A.O.A.C., 1990)

1.1 วัสดุอุปกรณ์

1. ตู้อบไฟฟ้า
2. เดซิกเคเตอร์
3. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
4. เครื่องชั่ง

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 105°ซ เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในเดซิกเคเตอร์จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. กระทำข้อ 1 ซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1 - 3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนัก นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°ซ เป็นเวลา 4 - 5 ชั่วโมง

4. นำออกจากตู้อบใส่ในเดซิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบและกระทำเช่นเดิม จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (A.O.A.C., 1990)

2.1 วัสดุอุปกรณ์

1. เตาเผา
2. ถ้วยกระเบื้อง
3. เดซิกเคเตอร์

2.2 วิธีการวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600°ซ เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผาใส่ในเดซิกเคเตอร์ ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. กระทำซ้ำ เช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบซึ่งทราบน้ำหนัก นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600°ซ นานประมาณ 5 - 6 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทาอ่อน

4. นำออกจากเตาเผาใส่ในเดซิกเคเตอร์ ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักแล้วนำกลับไปเผาอีกประมาณ 30 นาที กระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}}$$

3. การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (A.O.A.C., 1990)

3.1 วัสดุอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผา และเครื่องดักจับไอกรด
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
4. ปิเปต ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
5. บิวเรตต์ขนาด 25 มิลลิลิตร
6. ลูกแก้ว
7. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.2 สารเคมี

1. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) และโพแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตราส่วน 1 : 10

2. กรดซัลฟุริกเข้มข้น (conc H_2SO_4)

3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 60

4. กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4

5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอล

6. อินดิเคเตอร์ เป็นสารผสมระหว่าง เมททิลเรด เมทิลีนบูล และโบรโมครีซอลกรีน

3.3 วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรอง ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5 - 1.0 กรัม ห่อให้มิดชิดใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน (ตัวอย่างของเหลวใช้ปริมาตร 10 - 15 มิลลิลิตร)

2. ใส่สารผสมของ $CuSO_4$และ K_2SO_4 ปริมาณ 5 กรัม

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

4. ใส่ลูกแก้ว

5. จัดอุปกรณ์สำหรับย่อย นำตัวอย่างไปย่อยบนเตาย่อย โดยตั้งอุณหภูมิ 200°ซ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 350°ซ ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส

6. ปล่อยทิ้งให้เย็น

7. นำมาถ่ายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นล้างหลอดย่อยให้หมดสารละลายตัวอย่าง แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บไว้กลั่นต่อไป

8. จัดอุปกรณ์สำหรับกลั่น รวมทั้งเปิดสวิทซ์ไฟ และเปิดน้ำหล่อเย็นควบแน่น

9. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริคความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตรและน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดนี้

10. เติมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในช่องใส่ตัวอย่างแล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 60 ลงไป 20 มิลลิลิตร

11. กลั่นประมาณ 10 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ

12. ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มอล สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

13. ทำ blank ตามข้อ 1 - 12 โดยไม่ใส่ตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times N \times 14}{W}$$

A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับ blank

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์ค่า pH

4.1 วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องบด

2. เครื่องวัด pH

4.2 วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมน้ำกลั่นปราศจากกาซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยต้มน้ำกลั่นในขวดก้นกลมจนเดือด แล้วทำให้เย็นก่อนนำไปใช้ และปิดจุกขวดก้นกลมเพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศ

2. ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 5 กรัมใส่ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นปราศจากกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาตร 45 มิลลิลิตร นำไปปั่นพร้อมตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปวัดค่า พีเอช ด้วยเครื่องวัด พีเอช

5. การวิเคราะห์ค่า TVB (Conway and Byrne, 1987)

5.1 วัสดุอุปกรณ์

1. จาน conway unit

2. Volumetric pipette

3. Micro burette

4. ถ้วยบด

5. กระดาษกรอง

6. กรวย

5.2 สารเคมี

1. Mix indicator

ละลาย bromocresol green 0.01 กรัมและ methyl red 0.02 กรัม ด้วยเอทานอล ปรับปริมาตรจนได้ 10 มิลลิลิตร

2. Inner ring solution

2. Inner ring solution

ละลายกรดบอริค 10 กรัมด้วยเอทานอล 200 มิลลิลิตร แล้วเติม mix indicator 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรจนได้ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

3. 0.02 HCl

เตรียมโดยเจือจาง 1 N HCl โดยนำ 1 N HCl มาจำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายอิ่มตัวของโปตัสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3)

ละลาย K_2CO_3 ปริมาณ 60 กรัมด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ต้มเป็นเวลา 10 นาที แล้วทำให้เย็น จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง

5. 4 % TCA

ละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (CCl_3COOH) 40 กรัม ในน้ำกลั่น 960 มิลลิลิตร

6. grease หรือ vasaline

5.3 วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่าง 2 กรัม บดให้ละเอียดในถ้วยบด แล้วเติม 4 % TCA จำนวน 8 มิลลิลิตร แล้วบดให้ทั่วถึง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และบดเป็นครั้งคราว จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง (whatman No. 41) หรือเข้าเครื่องหมุนเวียงที่ 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ถ้าจำเป็นอาจเก็บไว้ที่ - 20°ซ

2. ทา grease หรือ vasaline ที่ขอบฝาจาน conway

3. ดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ชั้นนอกของ conway unit

4. ดูดสารละลาย inner ring solution 1 มิลลิลิตรลงที่วงกลมชั้นในของจาน conway

5. เอียงจาน conway ในขณะที่มีฝาปิด

6. ดูดสารละลายอิ่มตัวของ K_2CO_3 จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ชั้นนอกแต่ให้อยู่คนละด้านกับสารละลายตัวอย่าง ข้อ 2

7. ปิดฝาจาน conway ให้สนิท

8. เอียงหรือหมุนจาน conway เบาๆ ให้ potassium carbonate ผสมกับสารละลายตัวอย่าง ระวังอย่าให้เกิดการผสมกับ indicator ที่วงกลมชั้นในเป็นอันขาด

9. บ่มที่ 37°ซ เป็นเวลา 60 นาที หรือทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง

10. เปิดฝา conway แล้วไตเตรตวงกลมชั้นในด้วย 0.02 N HCl จนกระทั่งสีเขียวจางหายไป จดปริมาตรการใช้ HCl ไว้คำนวณ

12. ทำ blank โดยใช้ 4 % TCA จำนวน 1 มิลลิลิตร ดำเนินตามวิธีการตั้งแต่ข้อ 1 - 9

$$\text{TVB-N (มก.ไนโตรเจน / 100 กรัมตัวอย่าง)} = \frac{(N)(14)(A-B)(V)(100)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ N คือ Normality ของ HCl ที่ใช้ไตเตรต

A คือ มล. HCl ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง

B คือ มล. HCl ที่ใช้ไตเตรต blank

V คือ ปริมาตรรวมของตัวอย่างและ TCA ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

6. การวิเคราะห์ค่า TBA (Egan, et al., 1981)

6.1 วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดกลั่น (flask, condenser, receiver)
2. ลูกแก้ว
3. เตาไฟฟ้า
4. ปิเปต
5. หลอดทดสอบชนิดมีจุก
6. spectrophotometer

6.2 สารเคมี

1. 4 N Hydrochloric acid
2. Antifoam liquid
3. Thiobabituric acid reagent

ละลาย 0.2883 กรัม Thiobarbituric acid ใน 100 มิลลิลิตรของ 90 % glacial acetic acid

6.3 วิธีการวิเคราะห์

1. ปั่นตัวอย่าง 10 กรัม กับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 นาที แล้วถ่ายลงในขวดกลั่น ใช้น้ำ 47.5 มิลลิลิตร ล้างภาชนะที่ใส่ตัวอย่างแล้วเทลงขวด

2. เติม 2.5 มิลลิลิตร 4 N HCl (pH ควรจะเป็น 1.5) และเติมลูกแก้วและ antiform

2. เติม 2.5 มิลลิลิตร 4 N HCl (pH ควรจะเป็น 1.5) และเติมลูกแก้วและ antiform

3. กลั่นให้ได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร ภายใน 10 นาที

4. ดูดสารที่กลั่นได้ 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบที่มีจุกปิด

5. เติม 5 มิลลิลิตร TBA reagent เขย่าและให้ความร้อนด้วยน้

6. ทำ blank โดยวิธีเดียวกัน โดยใช้ 5 มิลลิลิตร ของน้ำให้ความร้อน 35 นาที

7. ทำตัวอย่างและ blank ให้เย็นแล้ววัดค่า OD ที่ 532 nm

TBA value (mg malonaldehyde / kg sample = 7.8 x A

(A = absorbance of sample ที่หักค่า balnk แล้ว)

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซน

SV	DF	SS	MS	F
ค่าการต้านแรงดึง				
Treatment	4	52.9086	13.2271	111.52 **
Error	41	4.8628	0.1186	
Total	45	57.7714		
ค่าการยืดตัว				
Treatment	4	29.9469	7.4867	1.47 ns
Error	41	208.7489	5.0914	
Total	45	238.6959		
ค่าการซึมผ่านไอน้ำ				
Treatment	4	0.1473	0.0368	8.06 **
Error	15	0.0685	0.0045	
Total	19	0.2159		

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ข 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนผสมเมทิลเซลลูโลส

SV	DF	SS	MS	F
ค่าการต้านแรงดึง				
Treatment	5	14.2571	2.8514	30.29 **
Error	54	5.0838		
Total	59	19.3409		
ค่าการยืดตัว				
Treatment	5	79.4359	15.8871	18.77 **
Error	54	45.6971	0.8462	
Total	59	125.1330		
ค่าการซึมผ่านไอน้ำ				
Treatment	5	0.0397	0.0079	21.91 **
Error	18	0.0065	0.0003	
Total	23	0.0462		

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวกที่ ข3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณสมบัติของฟิล์มไคโตแซนผสมไฮดรอกซี่โปรพิวเมทิลเซลลูโลส

SV	DF	SS	MS	F
ค่าการต้านแรงดึง				
Treatment	5	2.7117	0.5423	12.60 **
Error	54	2.3235	0.0430	
Total	59	5.0352		
ค่าการยืดตัว				
Treatment	5	38.9920	7.7984	4.08 **
Error	54	103.3368	1.9136	
Total	59	142.3289		
ค่าการซึมผ่านไอน้ำ				
Treatment	5	0.0543	0.0109	18.57 **
Error	18	0.0105	0.0006	
Total	23	0.0648		

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวกที่ ข4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์

SV	DF	SS	MS	F
Treament	29	1.9867	0.0685	3.42 **
Type of plasticizer (P)	1	0.3921	0.3921	19.55 **
Type of film (F)	2	0.2518	0.1259	6.28 **
Concentration (C)	4	1.0250	0.2562	12.78 **
PxF	2	0.0380	0.1899	<1
PxC	4	0.1133	0.0283	1.41 ns
FxC	8	0.0923	0.0115	<1
PxFxC	8	0.0744	0.0093	<1
Error	90	1.8051	0.0201	
Total	119	3.7918		

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ข5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์

SV	DF	SS	MS	F
Treament	29	100.5494	3.4672	64.75 **
Type of plasticizer (P)	1	8.1125	8.1125	151.49 **
Type of film (F)	2	2.1821	1.0910	20.37 **
Concentration (C)	4	79.8287	19.9572	372.68 **
PxF	2	0.5982	0.2991	5.59 **
PxC	4	3.6213	0.9053	16.91 **
FxC	8	5.3498	0.6687	12.49 **
PxFxC	8	0.8568	0.1071	2.00 *
Error	270	14.4586	0.0536	
Total	299	115.0081		

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ข6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์

SV	DF	SS	MS	F
Treament	29	15234.4828	525.3270	82.04 **
Type of plasticizer (P)	1	4039.0040	4039.0040	630.73 **
Type of film (F)	2	279.8630	139.9315	21.85 **
Concentration (C)	4	9057.7179	2264.4295	353.61 **
PxF	2	79.2042	39.6021	6.18 **
PxC	4	1109.4245	277.3561	43.31 **
FxC	8	195.4535	24.4317	3.82 **
PxFxC	8	473.8158	59.2270	9.25 **
Error	270	1728.9884	6.4037	
Total	299	16963.4712		

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวกที่ ข7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน

SV	DF	SS	MS	F
Treament	35	1.4154	0.0404	2.04 **
Type of lipid (L)	2	0.3313	0.1657	8.36 **
Type of film (F)	2	0.1300	0.0650	3.28 *
Concentration (C)	3	0.6622	0.2207	11.14 **
LxF	4	0.0681	0.0170	<1
LxC	6	0.1172	0.0195	<1
FxC	6	0.0275	0.0046	<1
LxFxC	12	0.0791	0.0066	<1
Error	108	2.1394	0.0198	
Total	143	3.5549		

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวกที่ ข8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน

SV	DF	SS	MS	F
Treament	35	54.9287	1.5694	30.48 **
Type of lipid (L)	2	6.6428	3.3214	64.51 **
Type of film (F)	2	1.9356	0.9678	18.80 **
Concentration (C)	3	33.7911	11.2637	218.78 **
LxF	4	1.6280	0.4070	7.91 **
LxC	6	3.8888	0.6481	12.59 **
FxC	6	4.4413	0.7402	14.38 **
LxFxC	12	2.6011	0.2168	4.21 **
Error	324	16.6809	0.0515	
Total	359	71.6095		

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวกที่ ข9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน

SV	DF	SS	MS	F
Treament	35	2676.1086	76.4602	14.36 **
Type of plasticizer (L)	2	1376.4789	688.2394	129.26 **
Type of film (F)	2	257.2411	128.6206	24.16 **
Concentration (C)	3	244.7490	81.5830	15.32 **
LxF	4	154.5395	38.6349	7.26 **
LxC	6	491.9814	81.9969	15.40 **
FxC	6	41.0637	6.8440	1.29 ns
LxFxC	12	110.0551	9.1713	1.72 ns
Error	324	1725.1560	5.3246	
Total	359	4401.2646		

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ข10 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน

ความเข้มข้น	ชนิดของฟิล์ม		
	CH	CH-MC	CH-HPMC
ลอริก			
0 %	0.58 ± 0.14^{a}	0.56 ± 0.14^{a}	0.62 ± 0.14^{a}
15%	0.52 ± 0.12^{a}	0.51 ± 0.15^{a}	0.52 ± 0.13^{a}
30%	0.42 ± 0.09^{a}	0.42 ± 0.13^{a}	0.44 ± 0.10^{a}
45%	0.38 ± 0.08^{a}	0.36 ± 0.07^{a}	0.46 ± 0.10^{a}
สเตียริก			
0 %	0.58 ± 0.14^{a}	0.56 ± 0.14^{a}	0.62 ± 0.14^{ab}
15%	0.62 ± 0.11^{a}	0.51 ± 0.13^{a}	0.67 ± 0.15^{a}
30%	0.60 ± 0.10^{a}	0.44 ± 0.12^{a}	0.58 ± 0.16^{ab}
45%	0.61 ± 0.12^{a}	0.41 ± 0.01^{a}	0.44 ± 0.14^{b}
ลอริก + สเตียริก			
0 %	0.58 ± 0.14^{a}	0.56 ± 0.14^{a}	0.62 ± 0.14^{a}
15%	0.42 ± 0.15^{ab}	0.41 ± 0.13^{ab}	0.49 ± 0.09^{ab}
30%	0.32 ± 0.09^{b}	0.37 ± 0.11^{ab}	0.41 ± 0.10^{b}
45%	0.38 ± 0.12^{ab}	0.30 ± 0.06^{b}	0.39 ± 0.09^{b}

อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ของกรดไขมันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

Comparison	S.E.D.	LSD (5%)	LSD (1%)
2 - C*L*F mean	0.10	0.20	0.26
2 - C*L mean	0.06	0.11	0.15
2 - C*F mean	0.06	0.11	0.15
2 - L*F mean	0.05	0.10	0.13
2 - C mean	0.03	0.07	0.09
2 - L mean	0.03	0.06	0.08
2 - F mean	0.03	0.06	0.08

ตารางผนวกที่ ข11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าการต้านแรงดึงของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน

ความเข้มข้น	ชนิดของฟิล์ม		
	CH	CH-MC	CH-HPMC
ลอริก			
0 %/	1.97 ± 0.15 [a]	2.10 ± 0.45 [a]	2.51 ± 0.24 [a]
15 %	1.71 ± 0.19 [b]	1.71 ± 0.07 [b]	2.03 ± 0.19 [b]
30 %	1.65 ± 0.18 [b]	1.86 ± 0.26 [b]	2.08 ± 0.19 [b]
45 %	1.63 ± 0.15 [b]	1.38 ± 0.25 [c]	1.64 ± 0.27 [c]
สเตียริก			
0 %	1.97 ± 0.15 [a]	2.10 ± 0.45 [a]	2.51 ± 0.23 [a]
15 %	1.44 ± 0.16 [b]	1.73 ± 0.19 [b]	1.73 ± 0.21 [b]
30 %	1.17 ± 0.15 [c]	1.40 ± 0.16 [c]	1.20 ± 0.10 [c]
45 %	1.24 ± 0.15 [bc]	0.99 ± 0.13 [d]	1.09 ± 0.10 [c]
ลอริก + สเตียริก			
0 %	1.97 ± 0.15 [a]	2.10 ± 0.45 [a]	2.51 ± 0.23 [a]
15 %	1.92 ± 0.20 [a]	1.96 ± 0.21 [a]	2.07 ± 0.12 [b]
30 %	1.99 ± 0.22 [a]	1.41 ± 0.14 [b]	1.53 ± 0.21 [c]
45 %	1.59 ± 0.09 [b]	1.49 ± 0.14 [b]	1.22 ± 0.20 [d]

อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ของกรดไขมันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

Comparison	S.E.D.	LSD (5%)	LSD (1%)
2 - C*L*F mean	0.10	0.20	0.26

ตารางผนวกที่ ข12 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มผสม เมื่อเติมกรดไขมัน

ความเข้มข้น	ชนิดของฟิล์ม		
	CH	CH-MC	CH-HPMC
ลอริก			
0 %	5.87 ± 2.73 [b]	4.01 ± 2.02 [a]	6.45 ± 3.69 [b]
15 %	8.69 ± 3.75 [a]	4.29 ± 2.06 [a]	8.67 ± 4.61 [a]
30 %	8.42 ± 2.24 [a]	3.87 ± 1.27 [a]	8.17 ± 3.55 [ab]
45 %	9.31 ± 2.45 [a]	5.31 ± 1.96 [a]	8.63 ± 4.94 [a]
สเตียริก			
0 %	5.87 ± 2.73 [a]	4.01 ± 2.01 [a]	6.45 ± 3.69 [a]
15 %	1.68 ± 0.39 [b]	1.31 ± 0.26 [b]	2.22 ± 0.37 [b]
30 %	1.27 ± 0.20 [b]	1.41 ± 0.26 [b]	1.89 ± 0.26 [b]
45 %	1.46 ± 0.19 [b]	1.11 ± 0.22 [b]	1.05 ± 0.22 [b]
ลอริก + สเตียริก			
0 %	5.87 ± 2.73 [a]	4.01 ± 2.02 [a]	6.45 ± 3.69 [a]
15 %	5.29 ± 1.39 [a]	1.66 ± 0.39 [b]	1.55 ± 0.21 [b]
30 %	2.97 ± 1.00 [b]	1.59 ± 0.28 [b]	1.80 ± 0.34 [b]
45 %	0.77 ± 0.11 [c]	1.92 ± 0.41 [b]	1.56 ± 0.40 [b]

อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ของกรดไขมันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ

Comparison	S.E.D.	LSD (5%)	LSD (1%)
2 - C*L*F mean	1.03	2.03	2.67
2 - C*L mean	0.60	1.17	1.54
2 - C*F mean	0.60	1.17	1.54
2 - L*F mean	0.52	1.02	1.34

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวนพรัตน์ มะเห

วัน เดือน ปีเกิด 1 มกราคม 2511

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วาริชศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2533

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนการศึกษาเพื่อผลิตและพัฒนาบุคลากร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล